ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1904 г. ТОМЪ 5 No. 3

Свѣтъ и электричество

В. К. Роше[1])

Вопросъ о связи между оптическими и электромагнитными явленіями уже долгое время является однимъ изъ самыхъ животрепещущихъ вопросовъ физики. Параллельно съ раскрытіемъ этой связи идетъ радикальное измѣненіе теоретическихъ взглядовъ на природу свѣта. Упругая теорія оптическихъ явленій, еще такъ недавно господствовавшая почти нераздѣльно, подъ вліяніемъ научнаго прогресса послѣднихъ лѣтъ все болѣе и болѣе теряетъ свой кредитъ, уступая мѣсто теоріи, ведущей свое начало отъ Максвелля, согласно которой свѣтъ по природѣ своей причисляется къ явленіямъ электромагнитнымъ.

Въ настоящей лекціи я постараюсь дать бѣглый историческій очеркъ развитія этого интереснаго вопроса и выяснить вмѣстѣ съ тѣмъ въ самой доступной элементарной формѣ нѣкоторыя основныя черты упомянутыхъ выше теорій свѣта: упругой и электромагнитной.

Разсматриваемый нами вопросъ ведетъ свое начало отъ Фарадея; до него, если у кого-нибудь и являлась идея о единствѣ физическихъ факторовъ вообще, въ частности о тождествѣ природы свѣта и электричества, то, во всякомъ случаѣ, подоб-

---

1) Вступительная лекція, читанная 29 октября 1903 г. въ Императорскомъ Варшавскомъ университетѣ.

ныя идеи не могли основываться на данныхъ науки, такъ какъ господствовавшія въ то время ученія о свѣтѣ и электричествѣ совершенно не заключали въ себѣ элементовъ, позволявшихъ искать какую-нибудь аналогію между этими двумя областями.

Въ періодъ, предшествовавшій Фарадею, ученіе о свѣтѣ обогатилось цѣлымъ рядомъ блестящихъ открытій: поляризація при зеркальномъ отраженіи и простомъ преломленіи, детальное изученіе законовъ двойного преломленія, хроматическая поляризація въ кристаллическихъ пластинкахъ, фигуры одноосныхъ и двуосныхъ кристалловъ въ сходящемся поляризованномъ свѣтѣ, вращеніе плоскости поляризаціи, интерференція поляризованныхъ лучей, диффракціонные спектры—весь этотъ рядъ замѣчательныхъ открытій вмѣстѣ съ извѣстными раньше явленіями интерференціи, диффракціи и поляризаціи при двойномъ преломленіи прочно утвердилъ господство теоріи, ведущей свое начало отъ Гюйгенса и согласно которой свѣтъ представляется въ видѣ волнообразнаго движенія упругой среды.

Окончательное торжество этой теоріи доставило открытіе явленія конической рефракціи, сдѣланное въ 1832 г. по указанію теоріи. Однако ошибочно было бы думать, что положенія упругой теоріи являются *необходимыми* слѣдствіями опытныхъ данныхъ. Изученіе перечисленныхъ выше явленій приводитъ насъ лишь къ тому убѣжденію, что свѣтъ въ основѣ своей обусловливается какимъ-то періодическимъ явленіемъ, какимъ-то колебаніемъ, понимаемымъ въ самомъ широкомъ смыслѣ. (Считаю нелишнимъ напомнить здѣсь, что въ физикѣ мы подъ именемъ колебанія разумѣемъ всякое явленіе, при которомъ какая-нибудь изъ характеризующихъ его величинъ измѣняется періодически между опредѣленными предѣлами).

Къ такому взгляду на природу свѣта приводитъ насъ изученіе интерференціи совмѣстно съ фактомъ распространенія свѣта съ конечною скоростью; далѣе явленія двойного преломленія, поляризаціи и въ особенности интерференціи поляризованныхъ лучей заставляютъ насъ приписать этимъ колебаніямъ и опредѣленное направленіе, перпендикулярное къ направленію луча и къ плоскости его поляризаціи. Выражаясь математическимъ языкомъ, мы можемъ такъ формулировать это представленіе: свойство свѣтового лучи въ каждой его точкѣ можно вполнѣ представить векторомъ, величина котораго періодически

измѣняется, а направленіе перпендикулярно къ лучу и къ плоскости его поляризаціи.

Выразивъ эти представленія о свѣтѣ, какъ о какомъ-то колебательномъ явленіи, сущности котораго мы не знаемъ, но однако хорошо знакомы съ законами распространенія и измѣненія этихъ колебаній при различныхъ условіяхъ, выразивъ эти представленія въ видѣ математическихъ формулъ, мы могли бы построить чисто-математическую теорію свѣта, которая представляла бы строгое, систематическое описаніе извѣстныхъ намъ явленій и была бы незыблема и неоспорима постольку, поскольку достовѣрны результаты, полученные путемъ точныхъ физическихъ опытовъ и измѣреній. Такая теорія имѣла бы безспорно большую научную цѣнность, приводя въ стройную систему рядъ извѣстныхъ намъ въ этой области фактовъ и позволяя цѣлый рядъ явленій, во всѣхъ ихъ деталяхъ и подробностяхъ, выводить изъ нѣсколькихъ основныхъ положеній. Однако подобное построеніе не можетъ, повидимому, вполнѣ удовлетворить человѣческій умъ. Намъ мало связать въ стройную систему явленія какой-нибудь одной категоріи; послѣ этого остается еще неудовлетворенною потребность „объяснить" эти явленія, т. е. свести ихъ къ явленіямъ другой категоріи, которыя намъ представляются болѣе простыми и понятными. Изъ всѣхъ физическихъ явленій наиболѣе простымъ и понятнымъ намъ безспорно представляется движеніе массы; поэтому другое болѣе сложное явленіе мы только тогда считаемъ вполнѣ объясненнымъ, когда можемъ составить соотвѣтствующую ему чисто-механическую схему, т. е. когда мы можемъ сказать, что явленіе, которое познаемъ по тѣмъ или инымъ внѣшнимъ признакамъ, можемъ представлять, какъ результатъ такихъ-то и такихъ движеній матеріальныхъ частицъ.

Съ этой точки зрѣнія старались объяснить и явленія свѣта, представляя ихъ въ видѣ колебаній нѣкоторой гипотетической упругой среды, выполняющей все міровое пространство и названной эѳиромъ. Положенія подобной теоріи уже не являются индукціею изъ опытныхъ данныхъ, и построеніе ея можно себѣ представить по слѣдующей схемѣ: мы изслѣдуемъ теоретически, по какимъ законамъ могутъ распространяться колебанія въ упругой средѣ, и затѣмъ сравниваемъ результаты нашихъ выводовъ съ извѣстными намъ изъ опыта законами распространенія свѣта. Пока мы находимъ между тѣми и другими полную

аналогію, до тѣхъ поръ мы имѣемъ право представлять себѣ свѣтъ въ видѣ упругаго колебанія. Но здѣсь невольно является вопросъ, можемъ-ли мы, идя подобнымъ путемъ, доказать съ полною достовѣрностью тождество этихъ двухъ классовъ явленій. Становясь на строго положительную точку зрѣнія, мы должны на этотъ вопросъ отвѣтить отрицательно. Подобнымъ путемъ мы могли бы въ данномъ случаѣ лишь доказать, что законы оптическихъ явленій, поскольку они намъ до сихъ поръ извѣстны, тождественны съ законами упругихъ колебаній. Изъ этого конечно еще не слѣдуетъ тождества самихъ явленій. Вѣдь законы звуковыхъ колебаній во многомъ аналогичны оптическимъ; водяныя волны и упругій шарикъ отражаются отъ преграды по тому же закону, какъ и свѣтовой лучъ, и т. п. При настоящемъ уровнѣ нашихъ знаній мы очень хорошо видимъ, какъ грубо ошибся бы тотъ, кто, видя только эти аналогіи и не зная фактовъ, свидѣтельствующихъ о различіи, рѣшилъ бы, что названныя явленія по существу тождественны. Но вѣдь въ положеніи именно такого несвѣдущаго человѣка стоитъ всякій изслѣдователь, какъ бы далеко ни простирались его свѣдѣнія о сравниваемыхъ имъ группахъ явленій, такъ какъ знать всего онъ, конечно, никогда не можетъ. И если аналогія простирается даже на весь обширный кругъ извѣстныхъ ему фактовъ, то все-таки остается сомнѣніе, что, можетъ быть, сейчасъ же за предѣлами этого круга стоятъ тѣ случаи, на которыхъ сказывается различіе. Такимъ образомъ, убѣждаясь въ тождествѣ законовъ, мы можемъ приближаться къ рѣшенію вопроса о тождествѣ самихъ явленій лишь асимптотически, не имѣя возможности отвѣтить когда-либо на него съ полною достовѣрностью.

Что касается собственно упругой теоріи оптическихъ явленій, то ей—даже во время полнаго ея расцвѣта—приходилось бороться съ очень значительными трудностями для того, чтобы вполнѣ согласить теоретическіе выводы съ данными опыта: для объясненія поперечности свѣтовыхъ колебаній приходилось представлять эѳиръ въ видѣ твердаго несжимаемаго тѣла; для тѣхъ, кто желалъ видѣть въ этой теоріи болѣе, нежели интересную аналогію, конечно, трудно было согласить подобное представленіе съ тѣмъ фактомъ, что среди этого эѳира планеты и другія небесныя тѣла движутся многія тысячелѣтія, не измѣняя своей средней скорости. Немало затрудненій встрѣчалось также при разборѣ явленія аберраци свѣта, находившаго столь простое

объясненіе въ старой теоріи истеченія. Формулы, выведенныя однимъ изъ самыхъ видныхъ творцовъ упругой теоріи—Френелемъ и касающіяся измѣненія яркости и поляризаціи луча при отраженіи и преломленіи, оказались несогласными съ точными измѣреніями, произведенными Жаменомъ въ сороковыхъ годахъ прошлаго столѣтія. Позднѣйшія поправки, правда, приводили теорію въ согласіе съ опытомъ, но онѣ необходимо приписывали эѳиру нѣкоторыя свойства, несовмѣстимыя съ понятіемъ объ упругой средѣ. Такимъ образомъ, болѣе тонкое изслѣдованіе оптическихъ явленій съ одной стороны и болѣе вдумчивая критика построеній теоріи съ другой постепенно приводятъ насъ къ мысли, что мы не имѣемъ права представлять свѣтъ въ видѣ колебаній упругой среды.

Но возвратимся къ нашему основному вопросу. Итакъ во время Фарадея ученіе о свѣтѣ было уже прекрасно разработано съ экспериментальной стороны, а въ теоріи оптическія явленія разсматривались, какъ результатъ упругихъ колебаній, распространяющихся въ эѳирѣ съ опредѣленною скоростью. Съ другой стороны ученіе объ электричествѣ и магнитизмѣ основывалось на представленіи о непосредственномъ дальнодѣйствіи электрическихъ или магнитныхъ полюсовъ, расположенныхъ на проводникахъ и магнитахъ; вліяніе промежуточной среды, а слѣдовательно и процессы, въ ней происходящіе, совершенно игнорировались; значитъ, не могло быть и рѣчи о распространеніи въ пространствѣ съ извѣстною скоростью какихъ-либо измѣненій электромагнитнаго характера. Послѣ этихъ замѣчаній, становится уже очевиднымъ высказанное въ началѣ положеніе, что господствовавшіе до Фарадея научные взгляды на явленія свѣта и электричества не давали основанія искать между этими областями какихъ-либо аналогій. Фарадей, какъ извѣстно, положилъ въ основу ученія объ электрическихъ и магнитныхъ явленіяхъ совершенно новый взглядъ. По его мнѣнію взаимодѣйствія между наэлектризованными тѣлами, точно также, какъ между магнитами или токами, являются результатомъ какихъ-то измѣненій въ промежуточной средѣ, измѣненій, распространяющихся постепенно отъ точки къ точкѣ съ нѣкоторою конечною скоростью. Эти взгляды служили Фарадею путеводною нитью во всѣхъ его изслѣдованіяхъ въ области электричества. На почвѣ такихъ воззрѣній могла уже зародиться и идея о близкомъ родствѣ между электромагнитными процессами и свѣтомъ. Эта идея

несомнѣнно жила въ умѣ великаго англійскаго ученаго; правда, онъ не создалъ въ этомъ направленіи никакой опредѣленной теоріи, но настойчиво искалъ фактовъ, могущихъ оправдать такое воззрѣніе.

Въ 1845 г. Фарадей открылъ замѣчательное явленіе, названное имъ „освѣщеніе магнитныхъ силовыхъ линій" или „намагниченіе свѣта". Это явленіе состоитъ, какъ извѣстно, въ томъ, что прямолинейно-поляризованный пучекъ свѣта, проходя сквозь нѣкоторыя прозрачныя вещества, помѣщенныя въ сильномъ магнитномъ полѣ, поворачиваетъ свою плоскость поляризаціи на нѣкоторый уголъ, величина котораго мѣняется въ зависимости отъ напряженія магнитнаго поля, отъ состава и толщины прозрачнаго слоя, пронизываемаго лучомъ, и отъ угла, образуемаго лучомъ съ направленіемъ магнитныхъ силовыхъ линій.

Руководясь своими теоретическими соображеніями, Фарадей полагалъ, что открытое имъ явленіе должно наблюдаться во всѣхъ прозрачныхъ веществахъ, но на опытѣ онъ лично не могъ подмѣтить его въ газахъ и нѣкоторыхъ кристаллахъ; однако работы позднѣйшихъ изслѣдователей, въ особенности Беккереля, Кундта, Рёнтгена и Бипа, показали, что Фарадей былъ совершенно правъ и что его личная неудача зависѣла лишь отъ недостаточности имѣвшихся въ его распоряженіи экспериментальныхъ средствъ. Описанный опытъ Фарадея самъ по себѣ, конечно, не можетъ служить доказательствомъ непосредственнаго вліянія магнитной силы на свойства свѣтового луча. Вращеніе плоскости поляризаціи происходитъ въ кварцѣ, въ растворахъ сахара и многихъ другихъ веществахъ, помимо дѣйствія магнитныхъ силъ; съ другой стороны мы знаемъ, что силы немагнитнаго характера могутъ также измѣнять оптическія свойства прозрачныхъ тѣлъ; напр., заставляя звучать стеклянную пластинку или сдавливая ее тисками, мы замѣчаемъ въ ней двойное преломленіе; однако мы изъ этого еще не дѣлаемъ заключенія, что давленіе тисковъ или звуковыя колебанія находятся въ тѣсномъ родствѣ съ явленіями свѣта. Въ этихъ опытахъ мы только лишній разъ наблюдаемъ тотъ общеизвѣстный фактъ, что свойства свѣтовыхъ лучей коренными образомъ зависятъ отъ структуры прозрачной среды, сквозь которую они проходятъ; одностороннее же давленіе, вызываемое тисками или продольными звуковыми волнами, измѣняетъ структуру однороднаго вещества, сообщая ему по различнымъ направленіямъ различныя свойства.

Точно также въ магнитномъ вращенiи плоскости поляризацiи можно видѣть лишь доказательство того факта, что подъ дѣйствiемъ магнитныхъ силъ всѣ прозрачныя тѣла измѣняютъ структуру опредѣленнымъ образомъ, въ силу чего становятся по своимъ оптическимъ свойствамъ подобными кварцу. При такомъ толкованiи опыта Фарадея, очевидно, что на основанiи его нельзя дѣлать никакихъ опредѣленныхъ заключенiй о природѣ свѣта.

Подобнымъ же образомъ можно трактовать и явленiе, открытое Керромъ тридцать лѣтъ спустя послѣ фарадеевскаго опыта и состоящее въ измѣненiи свойствъ поляризованнаго луча при отраженiи отъ намагниченнаго зеркала, а также открытое Кундтомъ вращенiе плоскости поляризацiи въ тонкихъ прозрачныхъ пленкахъ сильно-магнитныхъ металловъ. Всѣ эти магнитооптическiя явленiя, разсматриваемыя съ указанной точки зрѣнiя, оставляютъ открытымъ вопросъ объ электромагнитной природѣ свѣта. Но они допускаютъ и другое объясненiе, въ которомъ принимается измѣненiе свойствъ свѣтового колебанiя непосредственно подъ дѣйствiемъ магнитной силы, при чемъ уже необходимо разсматривать свѣтъ, какъ явленiе электромагнитнаго характера.

Такимъ образомъ, магнитооптическiя явленiя, если и не даютъ прямо утвердительнаго отвѣта на поставленный выше вопросъ, то во всякомъ случаѣ указываютъ, что подобное рѣшенiе его является возможнымъ и вѣроятнымъ.

Теперь спрашивается, какъ же подойти ближе къ раскрытiю этой въ высшей степени важной и интересной задачи, какъ рѣшить, представляютъ-ли дѣйствительно свѣтовыя колебанiя лишь одинъ спецiальный видъ среди обширнаго класса электромагнитныхъ явленiй.

Бѣглый обзоръ дальнѣйшихъ работъ въ этомъ направленiи дастъ намъ на это наилучшiй отвѣтъ.

Въ 1861—62 г. г. появились знаменитые мемуары ученика и послѣдователя Фарадея—Максвелля, въ которыхъ онъ теоретически указываетъ возможность представлять свѣтъ въ видѣ электромагнитныхъ колебанiй и, исходя изъ этого воззрѣнiя, строитъ свою „электромагнитную теорiю свѣта". Мы теперь попытаемся въ самой элементарной формѣ намѣтить основные пункты этой теорiи.

Прежде всего постараемся отвѣтить на вопросъ, что такое физики разумѣютъ подъ именемъ электрическаго, магнитнаго или электромагнитнаго колебанія. Согласно данному нами раньше опредѣленію колебанія вообще, мы теперь должны сказать, что всякое электрическое или магнитное явленіе, при которомъ хотя бы одна изъ характеризующихъ его величинъ мѣняется періодически между опредѣленными предѣлами, представляетъ электрическое или магнитное колебаніе. Такъ, если мы видимъ передъ собою наэлектризованный шарикъ, зарядъ котораго въ силу какихъ-либо причинъ періодически измѣняется, т. е., начиная съ нѣкоторой величины, постепенно увеличивается, доходитъ до извѣстнаго maximum, затѣмъ уменьшается и, дойдя до нѣкотораго minimum, начинаетъ снова возростать и т. д., и если притомъ полный циклъ измѣненій этого заряда каждый разъ совершается въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени, то мы скажемъ, что передъ нами происходитъ правильное электрическое колебаніе. Если бы подобныя измѣненія претерпѣвалъ не зарядъ шарика, а, скажемъ, магнитный моментъ какого-нибудь магнита, то мы назвали бы это магнитнымъ колебаніемъ; если бы періодически измѣнялась сила тока, протекающаго по проволокѣ, мы бы опять сказали, что происходитъ электрическое, магнитное или, лучше, электромагнитное колебаніе, такъ какъ въ явленіи тока электрическіе и магнитные процессы всегда неразрывно связаны. Представимъ себѣ еще, что наэлектризованный шарикъ самъ совершаетъ какое-нибудь періодическое движеніе, напр. движется взадъ и впередъ по отрѣзку прямой или движется по кругу или какой-нибудь другой замкнутой линіи, оканчивая полный циклъ движенія всегда въ одинъ и тотъ же промежутокъ времени. Спрашивается, какъ назвать это явленіе? Прежде всего мы назовемъ его механическимъ колебаніемъ или колебательнымъ движеніемъ массы; но съ другой стороны мы назовемъ его и электрическимъ колебаніемъ, такъ какъ при этомъ періодически измѣняется положеніе электрическаго заряда въ пространствѣ. Всѣ приведенные до сихъ поръ наглядные примѣры касались процессовъ, совершающихся въ проводникахъ или магнитахъ, но въ теоріи Максвелля намъ приходится имѣть дѣло съ колебаніями въ изолирующей средѣ. Попытаемся выяснить, насколько возможно, и это понятіе. Пространство, окружающее наэлектризованныя или намагниченныя тѣла, называется электрическимъ или магнитнымъ полемъ.

Каждая точка поля характеризуется электрическою или магнитною „силою поля", величину и направленіе которой мы можемъ опредѣлить. Если измѣняется электризація или намагниченіе тѣлъ, обусловливающихъ поле, или эти тѣла сами мѣняютъ свое положеніе въ пространствѣ, то измѣняется въ каждой точкѣ и сила поля. Въ полѣ, обусловленномъ наэлектризованнымъ шарикомъ, приведеннымъ въ нашемъ первомъ примѣрѣ, электрическая сила въ каждой точкѣ будетъ мѣняться періодически между опредѣленными предѣлами, такъ какъ величина этой силы зависитъ отъ величины заряда шарика; періодъ этого измѣненія, очевидно, будетъ совпадать съ періодомъ измѣненія заряда шарика. Подобное же періодическое измѣненіе электрической или магнитной силы мы будемъ наблюдать въ каждой точкѣ поля и во всѣхъ остальныхъ приведенныхъ нами случаяхъ. Слѣдовательно, мы можемъ сказать, что во всѣхъ этихъ случаяхъ въ каждой точкѣ поля происходитъ электрическое или магнитное колебаніе, такъ какъ мы наблюдаемъ періодическое измѣненіе величины, характеризующей электрическое или магнитное состояніе этой точки, именно электрической или магнитной силы. Согласно съ воззрѣніями Фарадея и Максвелля эти измѣненія силы происходятъ не одновременно во всемъ пространствѣ, а распространяются отъ точки къ точкѣ съ нѣкоторою скоростью. Такъ напр. (обратимся опять къ первому разсмотрѣнному нами случаю) если въ какой-нибудь моментъ сила поля въ точкѣ A, періодически измѣняясь, принимаетъ значеніе равное нулю, то въ точкѣ B, лежащей дальше отъ шарика, она приметъ это значеніе нѣсколько позже, въ точкѣ C, лежащей еще дальше, еще позже и т. д. То разстояніе, на которое успѣетъ распространиться это измѣненіе за время полнаго колебанія, мы называемъ длиною волны. Итакъ, если зарядъ шарика мѣняется такимъ образомъ, какъ сказано въ нашемъ примѣрѣ, то въ окружающемъ его пространствѣ распространяются во всѣ стороны съ нѣкоторою скоростью періодическія измѣненія электрической силы, т. е. элекрическія колебанія или электрическія волны. Измѣненіе электрической силы въ какой-нибудь точкѣ, какъ показалъ Максвелль, неразрывно связано съ измѣненіемъ въ той же точкѣ и силы магнитной: измѣненіе электрической силы сопровождается нѣкоторымъ процессомъ въ средѣ, аналогичнымъ электрическому току, а появленіе тока вызываетъ и появленіе магнитной силы. Такимъ образомъ электрическія колебанія могутъ распространяться не ина-

че, какъ въ связи съ магнитными колебаніями того же періода. Поэтому все явленіе въ совокупности удобнѣе всего называть распространеніемъ электромагнитныхъ колебаній или электро магнитныхъ волнъ.

Максвелль въ своей работѣ совершенно не касается вопроса объ источникахъ электромагнитныхъ колебаній; онъ прямо начинаетъ съ допущенія, что въ извѣстномъ мѣстѣ среды подобныя колебанія существуютъ, и затѣмъ изслѣдуетъ вопросъ, какъ эти колебанія распространяются при тѣхъ или иныхъ условіяхъ. Онъ доказываетъ, что эти колебанія поперечны, находитъ законы отраженія, преломленія, поляризаціи—и для всѣхъ этихъ случаевъ обнаруживаетъ полную аналогію съ законами оптическихъ явленій. На основаніи этого онъ и высказываетъ предположеніе, что свѣтъ обусловливается тѣми же самыми измѣненіями среды, которыми сопровождается измѣненіе электрическихъ или магнитныхъ силъ, т. е. другими словами, что свѣтъ есть электромагнитное колебаніе.

Теорія Максвелля приводитъ къ нѣкоторымъ заключеніямъ, допускающимъ непосредственную опытную провѣрку. Согласно этой теоріи скорость распространенія электромагнитныхъ волнъ въ изолирующей средѣ выражается формулою:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\mu k}},$$

гдѣ μ есть величина магнитной проницаемости среды; мы не будемъ входить здѣсь въ выясненіе этого понятія, а скажемъ лишь, что для всѣхъ прозрачныхъ тѣлъ величина μ почти одинакова и равна $1/v^2$, гдѣ v есть число, измѣряющее отношеніе между электромагнитной и электростатической единицами электрическаго заряда и равное приблизительно 3.10^{10}; K—такъ называемая діэлектрическая постоянная среды, которая для воздуха равна единицѣ. Подставивъ въ нашу формулу вмѣсто μ и K ихъ значенія для воздуха, мы находимъ:

$$V = \sqrt{v^2} = v = 3.10^{10} \text{ cm/sec}$$

Такимъ образомъ, мы видимъ, что въ формулу Максвелля входятъ величины, опредѣляемыя изъ измѣреній исключительно электромагнитныхъ, и что вычисленная по этой формулѣ ско-

рость распространенія электромагнитныхъ волнъ очень близко совпадаетъ со скоростью свѣта. Это обстоятельство можетъ служить довольно вѣскимъ подтвержденіемъ теоріи.

Итакъ для воздуха скорость электромагнитныхъ волнъ

$$V = v \tag{1}$$

Для всякой другой прозрачной среды

$$V_1 = \frac{v}{\sqrt{k_1}} \tag{2}$$

Раздѣляя (1) на (2) получимъ:

$$\frac{V_1}{V} = \sqrt{k_1}$$

Отношеніе V/V_1 равно, какъ извѣстно, показателю преломленія прозрачной среды относительно воздуха, n. Слѣдовательно

$$n = \sqrt{k_1}.$$

Такимъ образомъ, если свѣтъ есть дѣйствительно электромагнитное колебаніе, то между оптическимъ показателемъ преломленія среды и ея діэлектрическимъ коэффиціентомъ должна существовать указанная выше зависимость. Мы знаемъ, однако, что показатели преломленія данной среды различны для лучей разныхъ сортовъ; спрашивается, какой же изъ нихъ долженъ равняться $\sqrt{k_1}$? Максвелль приходитъ къ заключенію, что здѣсь надо подразумѣвать показатель преломленія для лучей возможно большаго періода, такъ какъ такія колебанія наиболѣе соотвѣтствуютъ тѣмъ медленнымъ процессамъ, при помощи которыхъ мы опредѣляемъ величину k для діэлектриковъ. Такимъ образомъ, опредѣляя оптическимъ путемъ показатель преломленія какого-нибудь вещества для свѣтовыхъ лучей и вычисляя на основаніи этихъ данныхъ по формуламъ, извѣстнымъ изъ оптики, показатель преломленія для лучей съ безконечно-большою длиною волны, мы должны получить число, равное $\sqrt{k}$, при чемъ k опредѣляется уже путемъ электрическихъ измѣреній.

Эта зависимость тоже допускаетъ опытную провѣрку. Во время Максвелля величина k съ достаточною, по его мнѣнію,

точностью была опредѣлена только для парафина, и для этого вещества указанная зависимость оправдывалась довольно точно.

Позднѣйшія измѣренія показали, что для нѣкоторыхъ тѣлъ законъ Максвелля оправдывается удовлетворительно, но во многихъ случаяхъ получаются также и значительныя отступленія. Это разногласіе теоріи съ опытомъ можно отчасти объяснить тѣмъ, что вычисленіе показателя преломленія для лучей съ безконечно-большою длиною волны представляетъ несовсѣмъ допустимый математическій пріемъ; противъ нѣкоторыхъ опредѣленій величины k, особенно для веществъ, обладающихъ замѣтною проводимостью, можно также сдѣлать нѣкоторые возраженья, но, какъ бы то ни было, этотъ пунктъ представляетъ слабое мѣсто теоріи Максвелля уже потому, что его формула не даетъ зависимости показателя преломленія отъ длины волны, слѣдовательно не даетъ возможности вывести законы свѣторазсѣванія при преломленіи.

Этотъ пробѣлъ электромагнитной теоріи свѣта пополнилъ Лоренцъ въ 1880 году; онъ же нарисовалъ картину тѣхъ процессовъ, существованіе которыхъ можно предположить въ самихъ источникахъ свѣта, объяснилъ, такъ сказать, лучеиспусканіе, котораго совершенно не касался Максвелль. Въ основу своихъ воззрѣній Лоренцъ кладетъ слѣдующее допущеніе: въ каждой частицѣ свѣтящаго тѣла находятся мельчайшія частички, заряженныя электричествомъ; эти частички были названы іонами, электрическими іонами; позже ихъ стали называть электронами. Электроны могутъ колебаться подъ дѣйствіемъ силъ, стремящихся вернуть ихъ въ положеніе равновѣсія, и такимъ образомъ могутъ служить источниками распространенія электрическихъ волнъ въ окружающемъ ихъ пространствѣ. Если мы желаемъ представлять механизмъ лучеиспусканія въ такомъ видѣ, то должны допустить присутствіе колеблющихся электроновъ въ каждый данный моментъ въ каждомъ физическомъ тѣлѣ, потому что каждое физическое тѣло даже при самыхъ низкихъ температурахъ постоянно испускаетъ тепловые лучи, которые по существу тождественны съ лучами свѣта и отличаются отъ нихъ лишь второстепеннымъ признакомъ—длиною волны.

Принявъ въ разсчетъ вліяніе этихъ колеблющихся наэлектризованныхъ частичекъ на распространяющіяся въ средѣ элек-

тромагнитныя волны, Лоренцъ вывелъ и формулу дисперсіи, совершенно согласную съ опытомъ, и такимъ образомъ достроилъ тѣ части теоріи, которыя были оставлены безъ вниманія Максвеллемъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Радіоактивность

Ѳ. Н. Индриксона [1]).

При разсмотрѣніи всѣхъ явленій, представляемыхъ радіоактивными препаратами, невольно возникаетъ вопросъ, откуда въ нихъ берется энергія. При первоначальномъ открытіи радіоактивности этотъ вопросъ представлялъ большое затрудненіе. Къ тому же Кюри и Лабордъ еще открыли, что хлористый барій, въ которомъ была примѣсь (1/6) хлористаго радія, имѣетъ температуру на 1·5° выше, чѣмъ чистый хлористый барій, такъ что по вычисленію Кюри, 1 gr. радія выдѣляетъ 100 gr.-cal. въ 1 часъ. При своихъ опытахъ Кюри и Лабордъ пользовались термоэлектрическимъ столбикомъ, съ одной стороны котораго былъ помѣщенъ 1 gr. чистаго хлористаго барія, а съ другой стороны 1 gr. хлористаго барія, содержащаго примѣсь хлористаго радія. Эти опыты были повторены Рунге и Прехтомъ, но были обставлены иначе: въ дюаровскій сосудъ помѣщался термометръ, позволяющій отсчитывать сотыя доли градуса; подъ этимъ термометромъ помѣщалось 57 mgr. бромистаго радія; наблюдалось нагрѣваніе термометра на 0·81°. Кромѣ того вокругъ шарика термометра была помѣщена платиновая спираль, по которой—послѣ удаленія бромистаго радія—пропускали токъ, пока термометръ не нагрѣвался на то же число градусовъ. Такимъ образомъ изъ этихъ опытовъ можно было опредѣлить, что 57 mgr. бромистаго радія въ теченіе часа выдѣляютъ 3·7 gr-cal., а одинъ

---

[1]) Окончаніе, см. стр. 1.

граммъ—65 gr-cal. Такъ какъ химическая формула бромистаго радія $RaBr_2$ (атомные вѣса радія=257 и брома=80), то одинъ граммъ *чистаго радія* долженъ выдѣлять 65.417/257=105 gr-cal. въ часъ. Это число весьма близко къ полученному Кюри.

Часть теплоты, высылаемой радіемъ, шла на нагрѣваніе дюаровскаго сосуда и термометра, затѣмъ—вслѣдствіе излученія какъ того, такъ и другого—разсѣивалась въ окружающее пространство. Если бромистый радій оставить нѣсколько дней въ дюаровскомъ сосудѣ, при чемъ для уменьшенія потери тепла въ окружающее пространство обернуть этотъ сосудъ шерстью и вставить въ другой, то можно было при введеніи термометра въ сосудъ съ бромистымъ радіемъ замѣтить повышеніе температуры на 1·2°. Кромѣ тепловой энергіи, испускаемой радіемъ, часть его энергіи тратится на выбрасываніе положительно и отрицательно заряженныхъ частичекъ; эта энергія составляетъ около 5% тепловой энергіи. Такъ что, дѣлая предыдущій подсчетъ для 1 gr. чистаго радія, мы найдемъ, что *граммъ радія тратитъ на образованіе іоновъ и электроновъ не болѣе 5·3* gr-cal. *въ 1 часъ* (5% отъ 105 gr.-cal.), т. е. эта энергія не болѣе 2·2. 10^8 erg.

Выше было упомянуто, что радій высылаетъ изъ себя 3 рода лучей α, β и γ, подобныхъ закатоднымъ, катоднымъ и рёнтгеновскимъ лучамъ. Какъ извѣстно, катодные лучи состоятъ изъ частицъ, заряженныхъ отрицательно и движущихся со скоростью равною 1/5 скорости свѣта. Какъ масса частицъ катодныхъ лучей, такъ и скорость ихъ движенія вычисляются изъ отклоненія катодныхъ лучей въ магнитномъ полѣ. Назовемъ чрезъ H напряженіе магнитнаго поля, въ которомъ находится пучокъ катодныхъ лучей; пусть μ означаетъ массу движущейся частички, ε—ея зарядъ и v — ея скорость. Если магнитныя силовыя линіи перпендикулярны къ пучку катодныхъ лучей, то на каждую движущуюся частичку дѣйствуетъ сила $H\varepsilon v$, которая направлена перпендикулярно къ полю и къ пути движенія частички, такъ что пучокъ катодныхъ лучей отклоняется и направляется по окружности, радіусъ которой обозначимъ ρ; но тѣло массы μ, движущееся по такой окружности со скоростью v, должно находиться подъ дѣйствіемъ центростремительной силы=$\mu v^2/\rho$. Вслѣдствіе этого можно написать равенство

$$(1) \qquad H\varepsilon v = \frac{\mu v^2}{\rho},$$

Заставляя катодные лучи падать на какое-нибудь тѣло, мы можемъ опредѣлить тотъ зарядъ, который они сообщатъ этому тѣлу. Пусть отъ ударовъ N частицъ въ тѣлѣ получится зарядъ E, тогда

$$E = N\varepsilon. \tag{2}$$

Когда пучокъ катодныхъ лучей встрѣчаетъ какое-нибудь препятствіе своему распространенію, напримѣръ, стѣнку трубки, то, какъ извѣстно, отъ ударовъ частицъ развивается теплота. Эту теплоту мы можемъ измѣрить: она будетъ результатомъ ударовъ движущихся частичекъ и отъ удара N частичекъ разовьется количество теплоты

$$Q = N\frac{\mu v^2}{2}. \tag{3}$$

Изъ (1), (2) и (3) мы находимъ

$$v = \frac{2Q}{EH\rho}, \tag{4}$$

а изъ (2) и (3)

$$\frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{Ev^2}{2Q}. \tag{5}$$

Такимъ образомъ для катодныхъ лучей было найдено $\varepsilon/\mu = 1{\cdot}87.10^8$ coul/gr. и $v = 0{\cdot}61.10^{10}$ cm/sec. (1/5 скорости свѣта), а для закатодныхъ лучей $\varepsilon_1/\mu_1 = 10^5$ и $v_1 = 10^8$ (1/300 скорости свѣта)

Изъ явленій электролиза можно вычислить отношеніе e/m для водорода, гдѣ e зарядъ атома водорода, а m его масса. Какъ извѣстно, 1 coul. электричества, проходя чрезъ подкисленную воду, выдѣляетъ 0·01036 mgr. водорода; слѣдовательно зарядъ 1 gr-mol водорода $= 96540$ coul., и $e/m = 10^5$ coul/gr. (приблизительно). Кромѣ того изслѣдованія показали, что зарядъ атома водорода при электролизѣ равенъ заряду частички катодныхъ лучей, т. е. $e = \varepsilon = 10^{-19}$ coul. Послѣ этого находимъ, что $\mu = m/2000$, т. е. что частичка катодныхъ лучей имѣетъ массу въ 2000 разъ меньшую, чѣмъ масса атома водорода.

Наблюденія надъ β-лучами радія также дали возможность опредѣлить v_1 и ε_1/μ_1, которыя оказались величинами того же порядка,

какъ и для частичекъ катодныхъ лучей. Что же касается α-лучей и аналогичныхъ имъ закатодныхъ лучей, то массы ихъ частицъ гораздо больше: для закатодныхъ лучей она приблизительно равна массѣ атома того газа, который находится въ трубкѣ, гдѣ образуются эти лучи. Напротивъ того масса частички катодныхъ лучей не зависитъ отъ газа, наполнявшаго трубку, *и всегда одна и та же.*

Разсмотрѣніе явленій радіоактивности и явленій въ круксовой трубкѣ привело къ принятію дѣлимости атома. По новѣйшимъ воззрѣніямъ каждый атомъ состоитъ *по крайней мѣрѣ* изъ двухъ частей: одна часть атома является носителемъ матеріи, а другая часть носителемъ электричества; первая заряжена положительно, а вторая—отрицательно. Подъ вліяніемъ рёнтгеновскихъ лучей или лучей радія атомы распадаются на іоны, являющіеся носителями матеріи и содержащіе въ себѣ положительный зарядъ, и электроны, заряженные отрицательно Іонизированіе воздуха и состоитъ въ расщепленіи атомовъ на іоны и электроны. Необходимо принять, что радій и подобныя ему вещества постоянно выбрасываютъ изъ себя, какъ іоны, такъ и электроны, а потому вѣсъ такихъ веществъ долженъ непрерывно уменьшаться. Между тѣмъ до сихъ поръ не удалось замѣтить потерю въ вѣсѣ радіоактивныхъ тѣлъ. Простымъ разсчетомъ можно доказать, что если такая потеря и происходитъ въ дѣйствительности, то нѣтъ никакой надежды замѣтить ее изъ наблюденій даже надъ такими сильно радіоактивными тѣлами, какъ радій Дѣйствительно, если чрезъ M обозначить массу всѣхъ частицъ, которыя граммъ радія выбрасываетъ изъ себя въ теченіе 1 часа, то энергія, которую онъ при этомъ теряетъ, будетъ $Mv^2/2$; но эта энергія, какъ мы видѣли выше, $= 2{\cdot}2\ 10^8$ erg; слѣд.

$$\frac{Mv^2}{2} = 2{\cdot}2.10^8 \text{ erg};$$

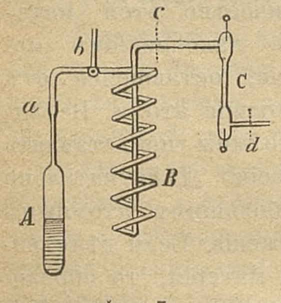
подставляя сюда значеніе v (т. е. $0{\cdot}6.10^{10}$), находимъ $M = 1\ 2.10^{-11}$ gr.; Слѣдовательно въ теченіе года одинъ граммъ радія потеряетъ 10^{-6} gr. или чистый радій теряетъ вѣсъ въ 1 mgr. лишь въ теченіе тысячи лѣтъ!

Отчего же температура радія на $1{\cdot}5^0$ выше температуры окружающаго пространства и что происходитъ въ самомъ радіѣ? На этотъ вопросъ можно отвѣтить лишь догадка-

ми, изъ которыхъ наиболѣе вѣроятною является предположеніе, что атомы радія находятся въ неустойчивомъ равновѣсіи.

Н. Н. Бекетовъ въ своей статьѣ „О химической энергіи въ связи съ явленіями, представляемыми радіемъ" (Ж. Р. Ф. Х. О. т. 35 (1903), стр. 189), разсматриваетъ атомы, какъ скопленія „наиболѣе тонкой матеріи". Чѣмъ больше атомный вѣсъ элемента, тѣмъ большее количество этой матеріи вошло въ составъ атома. Вмѣстѣ съ накопленіемъ матеріи въ атомѣ идетъ и наростаніе энергіи, оставшейся отъ соединенія частичекъ этой матеріи для образованія атома. Вслѣдствіе этого атомы съ большимъ вѣсомъ должны представлять собою системы въ неустойчивомъ равновѣсіи. Дѣйствительно всѣ радіоактивные элементы отличаются большимъ атомнымъ вѣсомъ, что и подтверждаетъ это предположеніе. Если дѣйствительно атомы состоятъ изъ первоначальной матеріи, то образованіе ихъ должно происходить по опредѣленному закону. Такимъ закономъ является періодическій законъ Менделѣева, гдѣ съ возростаніемъ атомнаго вѣса измѣняются и химическія свойства элементовъ. Если принять это предположеніе, то необходимо допустить также, что всѣ элементы должны быть радіоактивны, хотя и въ различной степени. Струттъ дѣйствительно нашелъ, что и обыкновенныя тѣла обладаютъ радіоактивностью, а Леннанъ и Буртонъ нашли, что радіоактивность обыкновенныхъ тѣлъ увеличивается съ увеличеніемъ атомнаго вѣса для испытанныхъ ими тѣлъ (свинца, олова и цинка). Далѣе Рутерфордъ изъ своихъ изслѣдованій пришелъ къ заключенію, что радій претерпѣваетъ цѣлый рядъ измѣненій, и испускаемые имъ лучи возникаютъ не сразу послѣ того, какъ онъ получается, а постепенно: сперва появляются α-лучи, затѣмъ къ нимъ присоединяются β-лучи и наконецъ γ-лучи. Извѣстенъ также фактъ, что активность только что осажденнаго бромистаго радія сперва незначительна и только чрезъ нѣсколько времени достигаетъ maximum. Это можно объяснить только тѣмъ, что требуется время для того, чтобы распаденіе атомовъ достигло извѣстнаго предѣла. Изучивъ свойства эманаціи, Рутерфордъ пришелъ къ заключенію, что она очень похожа на недѣятельные газы, какъ аргонъ и гелій. Блестящимъ подтвержденіемъ этого заключенія служитъ открытіе Рамзаемъ слѣдовъ гелія въ спектрѣ эманаціи.

Въ виду чрезвычайной важности этого послѣдняго открытія я повторилъ опыты Рамзая. Растворъ 10 mgr. бромистаго радія въ 10 c. cm. воды помѣщался въ сосудѣ *A* (фиг. 7), который шлифомъ *a* соединяется съ змѣевикомъ *B* и припаянною къ нему плюккеровскою трубочкою *C*; передъ змѣевикомъ находился кранъ-тройникъ *b*, при помощи котораго приборъ можно было промывать водородомъ или соединять его съ разрѣжающимъ насосомъ.



фиг. 7.

Послѣ промывки водородомъ, эманаціи дозволялось въ теченіе сутокъ проникать въ змѣевикъ и въ плюккеровскую трубку. Затѣмъ сосудъ съ растворомъ отдѣлялся отъ прибора, и змѣевикъ погружался на 1 часъ въ жидкій воздухъ; при этомъ змѣевикъ (чрезъ трубку *d*) сообщался съ разрѣжающимъ насосомъ, который приводился въ дѣйствіе. Послѣ этого змѣевикъ вынимался изъ жидкаго воздуха и, когда приборъ нагрѣвался до комнатной температуры, еще разъ разрѣжался. Наконецъ плюккеровская трубка запаивалась въ *d* и отпаивалась въ *c*. Такимъ образомъ я приготовилъ двѣ спектральныя трубки, первую 21 и вторую 27 ноября.

Чрезъ спектральныя трубки пропускался токъ румкорфовскаго индуктора, и наблюдался спектръ эманаціи. Для этихъ наблюденій служилъ спектроскопъ Мерца (значительной дисперсіи: линія натрія двойная и рѣзко очерчена) со сравнительною призмою.

Спектръ эманаціи былъ очень сложенъ и состоялъ изъ множества линій. При сравненіи его со спектромъ гелія никакихъ совпаденій линій не замѣчалось.

Неудачу опыта я приписывалъ малому количеству бромистаго радія (у Рамзая было 50 mgr.). Я попробовалъ собирать тѣ газы, которые выдѣляются при раствореніи бромистаго радія. Докторъ Е. С. Лондонъ просилъ меня растворить для него 10 mgr. бромистаго радія; я не далъ улетучиваться выдѣляющимся газамъ, закрывъ сосудъ, въ которомъ происходило раствореніе; затѣмъ этотъ сосудъ былъ соединенъ со спектральною трубкою, изъ которой предварительно былъ выкачанъ воздухъ. При раствореніи радія весь сосудъ и соединенная съ нимъ трубка свѣтились въ темнотѣ. Затѣмъ

трубка отдѣлялась отъ сосуда. На слѣдующій день, 2 декабря, трубка еще свѣтилась; послѣ выкачиванія изъ нея воздуха, свѣченіе нѣсколько ослабѣло. Въ этотъ день въ спектрѣ трубки линій гелія не было замѣчено. Свѣченіе разрѣженнаго газа въ трубкѣ при пропусканіи тока отъ индуктора Румкорфа было совершенно одинаково со свѣченіемъ трубки съ разрѣженнымъ воздухомъ. Въ теченіе нѣсколькихъ слѣдующихъ дней свѣченіе трубки продолжалось, но въ спектрѣ опять-таки линій гелія не замѣчалось. Съ 6-го декабря свѣченіе трубки измѣнилось, отличаясь отъ свѣченія разрѣженнаго воздуха, и вмѣстѣ съ тѣмъ въ спектрѣ появились хотя и очень слабыя линіи, совпадающія съ зеленою и синею линіями гелія.

Тогда я обратился къ прежнимъ моимъ трубкамъ; оказалось, что теперь первая трубка даетъ довольно ясныя линіи гелія, а вторая нѣсколько менѣе ясно выраженныя. Въ обѣихъ трубкахъ наблюдалось совпаденія съ красною, зеленою, синею и фіолетовою линіями гелія; желтая же линія гелія помѣщалась между двумя желтыми линіями эманаціи. Если змѣевикъ, соединенный со спектральною трубкою, погрузить въ жидкій воздухъ, то въ спектрѣ эманаціи линіи гелія выступаютъ еще рѣзче и вмѣстѣ съ тѣмъ между прежними двумя желтыми линіями появляется третья, которая совпадаетъ съ желтою линіею гелія.

Спб., Физическій Инст. Университета.
20 января 1904

Дальнодѣйствіе и волны

А. Корню[1].

Научныя замѣтки этого Ежегодника обыкновенно посвящаются хорошо установленнымъ результатамъ науки и пишутся

---

[1]) Les forces à distance et les ondulations par M. *A. Cornu* (Annuaire pour l'an 1896, publié par le bureau des longitudes). Это одна изъ послѣднихъ научно-популярныхъ статей талантливаго физика, некрологъ котораго былъ помѣщенъ въ *Физ. Обозр.* т. 4 (1903).

такъ, чтобы избавить читателя отъ подробностей тѣхъ поисковъ, которые всегда предшествуютъ всякому открытію. Этотъ способъ изложенія хотя и удовлетворяетъ любознательность читателя относительно современнаго состоянія науки и проистекающихъ отсюда примѣненій, имѣетъ однако тотъ недостатокъ, что не знакомитъ его съ различными фазами процесса открытія, скрываетъ отъ него подъ-часъ долгую и упорную борьбу человѣческаго ума съ затрудненіями, и потому не даетъ еще точнаго понятія о тѣхъ усиліяхъ, какихъ стоила каждая частица той истины, которую ему представляютъ.

Мнѣ казалось, что нѣкоторые читатели не были бы безучастны къ картинѣ этого труда, который предшествуетъ великимъ открытіямъ, и что указаніе на препятствія, которыя предстоитъ побѣдить, или предразсудки, которые необходимо опровергнуть, дастъ имъ понятіе о дѣятельности ума и напряженіи воображенія ученыхъ, стремящихся достичь результатовъ въ своихъ изслѣдованіяхъ. Эти усилія тѣмъ болѣе достойны вниманія, что чаще всего они остаются въ тѣни и обречены на забвеніе.

Дѣйствительно, многіе-ли изъ тѣхъ, которые пользуются приложеніями науки, какъ напр. мореплаватели, знаютъ, что Кеплеръ цѣлыхъ двадцать лѣтъ посвятилъ на открытіе законовъ, управляющихъ солнечною системою, что Ньютонъ столько же времени затратилъ на открытіе всемірнаго тяготѣнія? Между электротехниками, вѣроятно, многіе и не слыхали имени Френеля, посвятившаго всю свою жизнь на созданіе теоріи свѣтовыхъ волнъ и эѳира — этой точки отправленія неожиданнаго развитія современныхъ изслѣдованій въ области электричества!

Эти великія имена напоминаютъ разрѣшенныя задачи; но возникли другія задачи, требующія своего рѣшенія и не менѣе достойныя нашего вниманія, и послѣ каждаго открытія мысленный трудъ возобновляется при свѣтѣ новыхъ идей; мало по малу накопляются частные результаты; каждое поколѣніе вноситъ свои взгляды или болѣе точныя свѣдѣнія, и наконецъ нарождается великое открытіе.

Таково положеніе, въ которомъ находятся нынѣ физики по отношенію къ одной изъ величайшихъ задачъ натуральной философіи, которая тотчасъ послѣ Кеплера (1571—1630) представилась Декарту (1596—1650) и Ньютону (1642—1727): разъяснить механизмъ дальнодѣйствія. Вотъ уже цѣлыхъ три вѣка, какъ

этотъ вопросъ, занимавшій самые сильные умы, является во всѣхъ возможныхъ формахъ въ изслѣдованіяхъ физика и математика, равно какъ и астронома; ибо дѣйствія на разстояніи—отъ безконечно-большаго до безконечно-малаго—встрѣчаются во всѣхъ явленіяхъ, которыя стараются подвергнуть вычисленію.

До сихъ поръ механизмъ дальнодѣйствіи оставался совершенно намъ неизвѣстнымъ; но чувствуется, что близится минута, когда онъ будетъ разъясненъ. Мнѣ казалось, что изложеніе добытыхъ въ этомъ направленіи результатовъ отвѣчаетъ мыслямъ, указаннымъ въ началѣ моей замѣтки; хотя окончательныхъ заключеній еще нѣтъ, но краткая исторія попытокъ разрѣшить задачу заслуживаетъ вниманіе читателей, интересующихся борьбою и побѣдами науки.

2. *Центральныя силы.* Открывая свой удивительный законъ всемірнаго тяготѣнія (168), характеризуемый взаимнымъ притяженіемъ массъ обратно-пропорціональнымъ квадрату разстоянія, Ньютонъ далъ опредѣленность понятію о силахъ, дѣйствующихъ на разстояніи, т. е. дѣйствующихъ чрезъ инертную среду, не участвующую въ передачѣ взаимодѣйствій; физики и математики приложили это понятіе къ объясненію самыхъ различныхъ явленій—электрическихъ, магнитныхъ, упругихъ и др., и вывели заключенія, которыя вообще подтвердились опытомъ. Математическое выраженіе этого рода силъ, названныхъ *центральными* (ибо онѣ направлены по прямой, соединяющей центры дѣйствующихъ элементовъ), очень легко поддаются анализу; это выраженіе позволяетъ математику вывести при помощи анализа очень отдаленныя, но и чрезвычайно важныя слѣдствія, опытная провѣрка коихъ составляетъ подтвержденіе закона, принятаго въ основаніе вычисленій.

Отсюда произошло совершенно естественное довѣріе къ элементарнымъ законамъ, выражаемымъ при помощи центральныхъ силъ; рядомъ съ этимъ явилось нежеланіе изслѣдовать физическую сущность этого рода дѣйствій и оцѣнивать гипотезу, скрывающуюся подъ столь изящнымъ выраженіемъ.

Дѣйствительно, достаточно лишь подумать надъ условіями, въ которыхъ происходятъ ньютоновскія дѣйствія между небесными тѣлами, раздѣленными междупланетною пустотою, или надъ взаимнымъ отталкиваніемъ магнитныхъ или электрическихъ массъ въ безвоздушномъ пространствѣ, чтобы признать совершенную невозможность взаимодѣйствія безъ посредника. Хотя

при такихъ размышленіяхъ никто не обманывался, но всякій охотно повторялъ осторожныя слова Ньютона: „все происходитъ такъ, *какъ если бы* массы дѣйствовали по линіи центровъ съ силою обратно-пропорціональною квадрату ихъ разстоянія“ [1]).

Но слова имѣютъ такую силу надъ умомъ человѣка, что долго повторяемыя они заставляютъ принять за реальность выражаемыя фикціи: гипотеза казалась совершенно невозможною, но она была такъ изящна и такъ удобна, что ее сохраняли, хотя бы по привычкѣ.

3. *Необходимость дѣйствій чрезъ прикосновеніе.* Фарадей (1794—1867) былъ первымъ, который въ вопросѣ объ истолкованіи электромагнитныхъ явленій рѣшительно отвергъ гипотезу дѣйствія на разстояніи и старался доказать, что наблюдаемыя силы обусловливаются промежуточною средою, дѣйствующею непосредственнымъ прикосновеніемъ; при этомъ, конечно, законы, формулируемые при помощи центральныхъ силъ, сохраняютъ все свое значеніе, но ихъ слѣдуетъ разсматривать, какъ результатъ противодѣйствія среды на системы, которымъ приписываютъ взаимное дѣйствіе.

За свою смѣлость Фарадей былъ вознагражденъ открытіемъ *электромагнитной индукціи* (1831): по его представленіямъ окружающая среда измѣняется отъ присутствія въ ней токовъ или магнитныхъ массъ; это измѣненіе должно проникать внутрь проводника, внезапно вносимаго въ эту среду, и производить въ немъ замѣтное дѣйствіе; опытъ подтверждаетъ это разсужденіе: въ проводникѣ развивается электрическій токъ, названный Фарадеемъ *индуктивнымъ*.

Этотъ достопамятный опытъ, нанесъ рѣшительный ударъ гипотезѣ дальнодѣйствія; съ тѣхъ поръ физики стали разсматривать окружающую среду, какъ производящую и передающую силы.

---

[1]) Въ письмѣ къ Бентлею отъ 25 февр. 1691 г. Ньютонъ выразился еще яснѣе: „чтобы тяжесть была прирожденнымъ и существеннымъ свойствомъ вещества, и чтобы тѣла могли взаимодѣйствовать на разстояніи чрезъ *пустоту*, безъ посредства чего-либо, передающаго дѣйствіе одного тѣла на другое, все это для меня величайшій абсурдъ, въ который не можетъ впасть человѣкъ, сколько-нибудь способный правильно разсуждать о философскихъ вопросахъ. Тяжесть должна причиняться нѣкоторымъ дѣятелемъ, дѣйствующимъ постоянно по извѣстнымъ законамъ; но каковъ этотъ дѣятель, вещественный онъ или невещественный, объ этомъ я предоставляю судить моимъ читателямъ“.

Это новое представленіе, получившее блестящее подтвержденіе въ возникновеніи индуктивныхъ токовъ, конечно, не должно оставаться пріуроченнымъ къ тѣсному кругу фактовъ, для которыхъ оно было составлено; оно совершенно общее и должно распространяться на всѣ аналогичныя силы природы, какъ въ области безконечно-большаго астрономическихъ пространствъ, такъ и въ полѣ безконечно-малаго молекулярныхъ разстояній.

Вотъ великая задача, которую предстоитъ разрѣшить! Такъ какъ причину передачи дальнодѣйствія надо искать въ окружающей средѣ, то является вопросъ, въ чемъ же состоитъ механизмъ этой передачи? Какимъ образомъ частицы среды могутъ производить и передавать механическія дѣйствія?

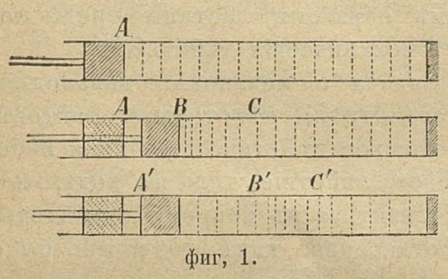
Спѣшимъ замѣтить, что задача о механизмѣ дальнодѣйствія еще не разрѣшена; но разсмотрѣніе нѣкоторыхъ фактовъ, въ которыхъ видно, что механическое дѣйствіе источника передаетъ на разстояніе механическое дѣйствіе того же рода, позволитъ намъ постепенно приблизиться къ вопросу и убѣдиться, что рѣшеніе его не столь отдаленно, какъ то можно было бы думать.

4. *Различные способы передачи на разстояніе.* Примѣры подобныхъ передачъ очень многочисленны даже въ обыденной жизни; въ нихъ можно различать нѣсколько типовъ. Передачу механическаго дѣйствія изъ одной точки въ другую прежде всего можно представить въ грубой формѣ метанія снаряда: достигши цѣли, снарядъ перенесъ значительную часть той механической энергіи, которая была ему сообщена. Бросаемое въ этомъ случаѣ тѣло бываетъ обыкновенно твердымъ; но жидкости и газы точно также могутъ служить для такой передачи силы; объ этомъ свидѣтельствуютъ гидравлическіе двигатели, вѣтренныя мельницы, паровыя и газовыя машины и т. д.

Расширеніе сжатаго газа представляетъ другой типъ передачи силы и движенія: это распространеніе звука въ воздухѣ; колоколъ, по которому ударили молоткомъ, самъ колеблется и приводитъ въ колебанія наше ухо, т. е. вызываетъ на значительныхъ разстояніяхъ движенія аналогичныя своимъ собственнымъ. Этотъ способъ передачи чрезъ воздухъ *волнами*, какъ механизмъ, совершенно отличенъ отъ способа брошеннаго снаряда: послѣдній матеріальнымъ образомъ переноситъ силу (т. е. живую силу, какъ ее называютъ въ механикѣ) отъ точки отправленія до точки достиженія; въ звуковой волнѣ нѣтъ матеріаль-

наго переноса отъ источника къ уху; каждая частица среды остается на мѣстѣ или лишь слегка колеблется около своего положенія равновѣсія; тутъ дѣйствуютъ упругость и инерція среды, производящей переносъ. Механизмъ этой передачи легко понятенъ; разсмотримъ одинъ простой примѣръ.

Пусть сотрясеніе происходитъ въ цилиндрическомъ столбѣ воздуха (напр. въ органной трубѣ), и разсмотримъ, какъ малое перемѣщеніе одного слоя передается другимъ слоямъ. Для этого раздѣлимъ мысленно нашъ столбъ воздуха на рядъ одинаковой толщины поперечныхъ слоевъ и представимъ себѣ, что поршень, закрывающій начало трубы, внезапно перемѣщенъ изъ A въ B (фиг. 1): первые слои, напр. до C, будутъ сжаты, но тѣмъ меньше, чѣмъ дальше слой отъ начала, ибо подъ дѣйствіемъ силы, переданной упругимъ посредникомъ, масса приходитъ въ движеніе не тотчасъ же, какъ первый слой, непосредственно прикасающійся къ поршню; такимъ образомъ, начиная съ нѣкотораго разстоянія C, слои остаются въ покоѣ; но подъ вліяніемъ давленій, испытываемыхъ ими со стороны сжатыхъ слоевъ, они тоже приходятъ въ движеніе; они передаютъ это сжатіе слѣдующимъ слоямъ и т. д.; наконецъ сжатая волна $B'C'$ достигаетъ закрытого конца трубы и давитъ на него. Распространяясь, волна переноситъ на разстояніе—благодаря малымъ перемѣщеніямъ каждаго слоя—то сжатіе, которое было образовано въ началѣ трубы.



фиг, 1.

При обратномъ движеніи поршня, сопряженномъ съ расширеніемъ прилегающаго слоя, вызывается волна расширенія, которая перенесетъ на конецъ трубы силу, направленную противоположно первой.

Если такого рода волны слѣдуютъ поперемѣнно одна за другою, то вызываютъ періодическія силы, которыя, повторяясь достаточно часто, даютъ впечатлѣніе звука.

Таковъ элементарный механизмъ передачи силъ на разстояніе чрезъ сжимаемую и расширяемую среду, при помощи упругихъ колебаній. Можно замѣтить, что наше разсужденіе касается одного частнаго случая, ибо звуковыя волны образуют-

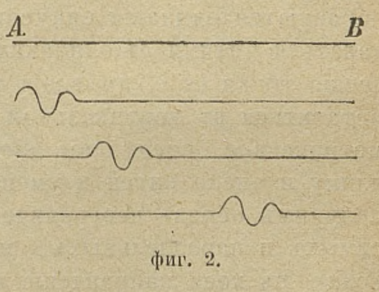
ся изъ колебаній: передаваемая ими сила попеременно то положительная, то отрицательная, и потому рѣзко отличается отъ того притяженія, примѣръ котораго представляетъ ньютоновское притяженіе.

Тѣмъ не менѣе этотъ примѣръ показываетъ, что промежуточная среда способна передавать силы дѣйствіемъ своихъ внутреннихъ реакцій: вычисленіе и опытъ показываютъ, что эта передача совершается съ постоянною скоростью. Поэтому можно надѣяться, что такимъ же путемъ удастся объяснить дальнодѣйствія и что изслѣдованія волнъ и изученіе свойствъ колеблющейся среды приведутъ къ рѣшенію этой великой задачи.

5. *Два рода волнъ.* Теперь возникаетъ вопросъ: нельзя-ли представить себѣ еще иной механизмъ распространенія волнъ. До Френеля думали, что иного способа распространенія, какъ тотъ, какимъ распространяются звуковыя волны, не существуетъ, и это мнѣніе или, лучше сказать, этотъ предразсудокъ долго задерживалъ развитіе молекулярной механики. Въ этомъ способѣ передачи перемѣщенія слоевъ — сжатіемъ и разрѣженіемъ — совершаются въ направленіи распространенія; эти перемѣщенія *продольныя*, а потому и волны, которыя они образуютъ, суть *продольныя волны.*

Ясно, что можно произвести аналогичныя волны при помощи совершенно иныхъ перемѣщеній.

Представимъ себѣ толстую веревку въ нѣсколько метровъ длины, натянутую горизонтально между точками A и B (фиг. 2), и положимъ, что ея начало приведено въ сотрясеніе ударомъ молотка, направленнымъ вертикально. Тогда на веревкѣ образуется синусоида, распространяющаяся до ея конца, который испытываетъ дѣйствіе вертикальной силы въ тотъ моментъ, когда сюда доходитъ эта синусоида. Слѣдовательно это настоящая волна: она отражается отъ концовъ веревки, какъ звуковая волна отражается отъ неподвижныхъ перегородокъ.



фиг. 2.

Однако мы видимъ разницу, существующую между механизмомъ распространенія этой волны по веревкѣ и механизмомъ распространенія волны въ органной трубѣ, хотя бы цилиндрическая форма колеблющагося тѣла въ томъ и другомъ случаѣ бы-

ла совершенно одинакова. Перемѣщеніе каждой точки или каждаго слоя веревки *поперечное*, тогда какъ въ воздушномъ столбѣ оно было продольное. Такимъ образомъ мы имѣемъ простой примѣръ *поперечной волны*.

Между этими двумя типами колебаній существуетъ разница бо́льшая, чѣмъ это можетъ показаться съ перваго взгляда. Дѣйствительно, въ продольныхъ волнахъ направленіе перемѣщеній вполнѣ опредѣленное: оно совпадаетъ съ направленіемъ распространенія; между тѣмъ въ поперечныхъ волнахъ это направленіе не опредѣлено, ибо оно должно быть лишь перпендикулярно къ веревкѣ или къ направленію распространенія; отсюда безконечное разнообразіе формъ для перемѣщеній, которыя могутъ быть или прямолинейными и какого-нибудь направленія, или эллиптическими, или круговыми и т. д. Всѣ эти волны легко воспроизвести: стоитъ лишь одинъ конецъ веревки укрѣпить, а другой взять въ руку и качать по прямой или вращать по эллипсу или по кругу. Ясно, что этого рода волны обладаютъ такимъ разнообразіемъ, какимъ не обладаютъ волны перваго типа.

Мнѣ возразятъ, что качанія веревки не могутъ служить типомъ волнообразнаго движенія въ неограниченной средѣ; но нетрудно установить переходъ отъ одного случая къ другому. Стоитъ только представить себѣ рядъ параллельныхъ и одинокихъ веревокъ, одинаково натянутыхъ и укрѣпленныхъ концами къ двумъ вертикальнымъ пластинкамъ; если одну изъ пластинокъ ударить вертикально, то на всѣхъ нитяхъ одновременно образуются одинакія синусоиды, которыя станутъ затѣмъ передаваться нитями съ одинаками скоростями, такъ что гомологическія точки (т. е. имѣющія одинакія перемѣщенія) будутъ всегда оставаться въ вертикальной плоскости; въ этомъ состоитъ геометрическое опредѣленіе *плоской поперечной волны*. Увеличивая длину и число нитей и уменьшая разстоянія между ними, мы получимъ образъ неограниченной среды, состоящей изъ независимыхъ и параллельныхъ нитей, распространяющихъ плоскую волну, въ коей направленіе и даже форма колебанія неопредѣленны, ибо это колебаніе должно лишь быть параллельнымъ плоскости волны.

Этотъ образъ имѣетъ одинъ только недостатокъ: имѣя его въ виду, можно думать, что волны этого рода могутъ возникать лишь въ средѣ особаго строенія, состоящей напр. изъ независи-

мыхъ нитей, и распространяться исключительно по одному направленію (этихъ нитей); между тѣмъ ничего подобнаго нѣтъ. Поперечныя волны развиваются въ совершенно однородныхъ средахъ, какъ напр. въ жидкости, и слѣд. распространяются по всѣмъ направленіямъ. Волны, вызываемыя на поверхности воды, служатъ тому доказательствомъ; обыкновенно ихъ и приводятъ, какъ примѣръ подобнаго рода волнъ. Этотъ примѣръ очень нагляденъ и показываетъ, что колебанія среды могутъ совершаться безъ участія ея сжатія, т. е. безъ измѣненія ея плотности; но этотъ примѣръ имѣетъ недостатокъ быть слишкомъ частнымъ, ибо перемѣщенія всегда направлены вертикально; между тѣмъ, какъ безконечное разнообразіе въ направленіи и формъ колебаній есть основная черта этого рода волнъ.

6. *Три способа передачи на разстояніе.* Все, сказанное выше, можно резюмировать такъ: теперь мы знаемъ три способа передачи движенія на разстояніе: во 1-хъ выбрасываніе матеріальныхъ тѣлъ, во 2-хъ *продольныя волны* и въ 3-хъ *поперечныя волны.* Изъ этихъ трехъ способовъ до начала 19-го вѣка только два первыхъ были извѣстны, какъ общіе типы передачи движенія въ неограниченной средѣ; третій способъ былъ открытъ Френелемъ при изученіи свѣтовыхъ явленій. Дѣло въ томъ, что свѣтъ представляется тоже, какъ случай передачи на разстояніе: источникъ свѣта высылаетъ изъ себя *нѣчто*, освѣщающее предметы и вызывающее зрительное ощущеніе. Свѣтъ представляетъ даже странную особенность: онъ не только распространяется въ пустотѣ, но онъ распространяется тамъ лучше, т. е. съ большею скоростью, чѣмъ въ вѣсомой средѣ. Къ какому типу слѣдуетъ отнести механизмъ этой передачи? Вотъ вопросъ, который въ прошлые вѣка живо интересовалъ физиковъ и математиковъ; исторія вопроса очень интересна.

7. *Первыя теоріи свѣта: истеченіе и волны.* Декартъ и затѣмъ Гюйгенсъ (1629—1695) утверждали, что въ гипотетической средѣ, въ эѳирѣ, наполняющемъ все безконечное пространство и существующемъ даже въ абсолютной пустотѣ, свѣтъ распространяется тѣмъ же способомъ, какъ волны распространяются на поверхности жидкости. Не опровергая теоріи волнъ, Ньютонъ создалъ теорію истеченія (1704): свѣтъ есть матерія, состоящая изъ очень малыхъ тѣлецъ продолговатой формы, выбрасываемыхъ источникомъ съ громадною скоростью. Благодаря остроумному усложненію гипотезъ, Ньютонъ дошелъ (въ

этомъ и состоялъ успѣхъ его теоріи) до объясненія любопытнаго явленія цвѣтныхъ колецъ, которое онъ открылъ и передъ которымъ теорія волнъ оставалась нѣмою.

Въ началѣ 19-го вѣка Юнгъ реабилитировалъ теорію волнъ; онъ доказалъ, что лучъ свѣта—что касается его колебательнаго состоянія—можетъ быть уподобленъ цилиндрическому столбу, распространяющему періодическія волны; въ точкѣ пересѣченія двухъ лучей происходитъ *интерференція*, т. е. сложеніе перемѣщеній, усиленіе или уничтоженіе свѣта; отсюда возникало простое объясненіе цвѣтныхъ колецъ, совершенно разрушавшее ньютоновскую теорію.

Такимъ образомъ свѣтъ не матеріаленъ. Юнгъ относилъ свѣтъ къ тому же роду волнообразнаго движенія, къ какому принадлежитъ и звукъ, т. е. къ продольнымъ волнамъ, единственнымъ, которыя были извѣстны въ то время; впрочемъ математики были далеки отъ мысли, чтобы физическое строеніе средъ допускало иной способъ распространенія волнъ.

За отсутствіемъ опытныхъ данныхъ достаточныхъ по числу и убѣдительности, теорія Юнга не произвела того впечатлѣнія, какого можно было отъ нея ожидать. Между тѣмъ она наносила рѣшительный ударъ гипотезѣ дальнодѣйствія, ибо свѣтъ представлялъ первый примѣръ передачи движенія, исключительно съ помощью окружающей среды.

Однако же возникли серіезныя затрудненія, когда Малюсъ открылъ *поляризацію*. Если продольныя волны вполнѣ удовлетворительно объясняли интерференцію, непонятную въ теоріи истеченія, то онѣ были безсильны объяснить то странное измѣненіе, испытываемое лучомъ, когда его *поляризовали*. Открытіе Малюса подвергало сомнѣнію всю теорію волнъ.

8. *Свѣтъ состоитъ изъ поперечныхъ волнъ.* Потребовался геній Френеля (1788—1827), чтобы открыть истинный характеръ свѣтовыхъ волнъ. Френель, самостоятельно пришедшій къ теоріи Юнга, не будучи съ нею знакомъ, сначала изобрѣлъ опыты (между ними опытъ съ зеркалами), подтверждавшіе объясненіе интерференціи и такимъ образомъ поставилъ волнообразную теорію свѣта внѣ всякаго сомнѣнія. Затѣмъ, изслѣдуя всѣ многочисленныя явленія поляризаціи, онъ послѣ долгихъ трудовъ устранилъ то казавшееся неопреодолимымъ затрудненіе, которое ставилось свѣтовымъ волнамъ предвзятою идеею о продольности колебаній. Онъ открылъ, что, полагая свѣтовыя колебанія

поперечными, всѣ свойства поляризованнаго свѣта объясняются удивительно просто.

Неопредѣленность формы колебаній, характеризующее этого рода волны, не только не мѣшаетъ, а облегчаетъ до мельчайшихъ подробностей объяснить всѣ столь странныя явленія цвѣтной поляризаціи и двойного преломленія.

Наконецъ самъ поляризованный свѣтъ, для котораго сторонники истеченія создавали самыя сложныя гипотезы, представляетъ въ сущности самую простую волну съ прямолинейными и параллельными между собою колебаніями, образомъ которыхъ служитъ качающаяся нить.

9. *Подтвержденіе гипотезы эѳира.* Открытіе поперечныхъ волнъ знаменуетъ важный этапъ въ развитіи науки вообще и въ нашей задачѣ въ частности. Оно внесло новое понятіе—особого рода упругость, которою обладаютъ всѣ тѣла и которой соотвѣтствуютъ волны, распространяющіяся безъ сжатій и расширеній, при помощи перемѣщеній, неизмѣняющихъ плотности среды.

Такъ какъ всѣ свойства свѣта сохраняются въ пустотѣ, то мы должны заключить, что пространство, свободное отъ вѣсомой матеріи, все-таки занято упругою средою, которая способна распространять поперечныя колебанія, средою недоступною нашему осязанію и называемою *эѳиромъ.* Понятно, что всѣ опытныя доказательства волнообразной природы свѣта, изобрѣтенныя Френелемъ, суть вмѣстѣ съ тѣмъ и доказательства существованія эѳира.

10. *Электрическія волны.* Мы видѣли, что Ньютонъ былъ иниціаторомъ физическихъ законовъ, выражаемыхъ центральными силами, которыя измѣняются обратно-пропорціонально квадратамъ разстояній; дѣйствительно, этотъ же законъ былъ впослѣдствіи найденъ Кулономъ въ кажущемся взаимодѣйствіи электрическихъ и магнитныхъ массъ, а также Амперомъ во взаимодѣйствіи двухъ элементовъ тока. Реальность этихъ дальнодѣйствій Фарадей опровергъ, открывъ индукцію, какъ обусловливаемую промежуточною средою; впрочемъ открыть механизмъ этой передачи не удавалось, какъ и въ случаѣ всемірнаго тяготѣнія. Въ виду важной роли, играемой средою, ясно, что передача силы и явленія распространенія находятся въ законной зависимости между собою. Эта точка зрѣнія занимала уже Лапласа, когда онъ задавалъ себѣ вопросъ, какъ распространяется солнечное при-

тяженіе—мгновенно или послѣдовательно; нѣкоторыя соображенія, немного поверхностныя, заставили его откинуть гипотезу распространенія силы съ конечною скоростью, хотя бы и значительною, какъ скорость свѣта; но вопросъ стóитъ того, чтобы къ нему вновь вернулись и всесторонне разсмотрѣли.

Съ своей стороны физики спрашивали себя, съ какою скоростью распространяются электрическія и магнитныя дѣйствія, т. е. различнаго рода индукціи. Гельмгольцъ пытался даже опредѣлить эту скорость изъ опыта; но результатъ былъ отрицательный распространеніе совершалось въ слишкомъ короткое время, такъ что практически эта скорость была безконечно-большою.

Въ то время, какъ прямой опытъ, казалось, не въ состояніи обнаружить скорость распространенія индуктивныхъ дѣйствій, теорія открыла новый путь, любопытный и неожиданный; точкою отправленія здѣсь было то обстоятельство, что множитель, при помощи котораго переходятъ отъ одной системы электрическихъ единицъ къ другой, равенъ 300000 km./sec., т. е. равенъ скорости свѣта.

Руководимый этимъ указаніемъ, Максвелль (1831—1879) старался выразить мысли Фарадея при помощи общихъ математическихъ формулъ, при чемъ промежуточную среду онъ разсматривалъ, какъ вмѣстилище электрическихъ дальнодѣйствій; а въ виду того, что индукція распространяется чрезъ пустоту такъ же хорошо, какъ и чрезъ воздухъ или какой-нибудь діэлектрикъ, то онъ принялъ гипотезы, которыя допускаются вообще въ теоріи свѣтовыхъ волнъ, и въ частности гипотезу эѳира. Такимъ образомъ электрическія дѣйствія вызываютъ въ свободномъ эѳирѣ такія же деформаціи и сотрясенія, какія происходятъ въ немъ при распространеніи свѣтовой волны. Но среда можетъ передавать только два рода волнъ—продольныя или поперечныя. Такъ какъ вышеупомянутый факторъ представляетъ какъ разъ скорость свѣта, то естественно принять, что природа электрическихъ и свѣтовыхъ сотрясеній въ свободномъ эѳирѣ одинаковы, что какъ тѣ, такъ и другія распространяются съ одною скоростью, что электричество и свѣтъ имѣютъ одно мѣстонахожденіе—эѳиръ.

Оставалось создать математическую теорію, въ которой бы вышеупомянутый факторъ представлялъ именно скорость распространенія индукціи. Это вполнѣ удалось Максвеллю въ рядѣ

мемуаровъ (1865—1873), знаменитыхъ по смѣлости замысла, хотя и основанныхъ на принципахъ, которые можно оспаривать.

11. *Электрическая индукція распространяется поперечными волнами.* Сколько бы ни критиковали эти принципы, теорія Максвелля была чрезвычайно плодотворна; она вызвала попытки путемъ опыта доказать, что источникъ электрическихъ явленій находится не въ проводникѣ, а въ окружающей его діэлектрической средѣ. Иниціаторомъ этихъ интересныхъ опытовъ явился нѣмецкій физикъ Герцъ (1857—1894). Изобрѣтенный имъ опытный методъ состоитъ въ томъ, чтобы—при помощи электрическихъ приборовъ—воспроизвести тѣ періодическія колебанія, которыя свѣтящій источникъ сообщаетъ эѳиру. Для этого за электрическій источникъ онъ принялъ колебательные разряды конденсатора, изслѣдованные лордомъ Кельвиномъ; при помощи особыхъ приспособленій онъ сдѣлалъ эти колебанія столь частыми, что они повторялись сотни милліоновъ разъ въ секунду (повторяемость свѣтовыхъ колебаній около 60 трилліоновъ).

Если теорія Максвелля вѣрна, то въ эѳирѣ можно возбуждать электрическія волны, обладающія всѣми свойствами свѣтовыхъ волнъ. Сначала опыты дали результаты, нѣсколько неопредѣленные и затемненные предвзятою идею; но мало по малу они освободились отъ этой неопредѣленности, свойственной первымъ попыткамъ; приборы Герца были изучены и усовершенствованы искусными экпериментаторами. Искра, служащая источникомъ, вызываетъ въ отдаленномъ проводникѣ (резонаторѣ) искры, соотвѣтствующія зрительному впечатлѣнію свѣтовыхъ волнъ и обнаруживающія присутствіе переданной волны. Такимъ образомъ можно убѣдиться въ возникновеніи электрическихъ волнъ, которыя затѣмъ заставляютъ отражаться, преломляться, интерферировать и диффрактировать; ихъ можно поляризовать прямоленейно, по кругу или по эллипсу, что служитъ доказательствомъ поперечности электрическихъ колебаній среды. Однимъ словомъ можно воспроизвести всѣ опыты, которые 80 лѣтъ тому назадъ изобрѣлъ Френель для обнаруженія истинной природы свѣтовыхъ волнъ.

Итакъ электрическія сотрясенія въ свободномъ эѳирѣ представляются тождественными со свѣтовыми сотрясеніями; они подчиняются тѣмъ же законамъ, распространяются съ тою же скоростью и отличаются отъ послѣднихъ лишь меньшею повторяемостью.

12. *Локализованная энергія.* Итакъ индуктивныя дѣйствія сведены нами къ поперечнымъ волнамъ. Казалось бы, что мы близки къ цѣли. Однако, остается важное затрудненіе. Мы выходили изъ идеи объ электростатической или электромагнитной силы, а между тѣмъ понятіе о силѣ не примѣнимо къ даннымъ явленіямъ.

Дѣло въ томъ, что само представленіе объ активной средѣ совершенно измѣняетъ понятіе о силѣ — понятіе, которое для насъ всегда имѣетъ статическій характеръ, тогда какъ наблюдаемыя явленія носятъ существенно динамическій характеръ. Это почти всегда превращенія энергіи, произведеніе и поглощеніе механической энергіи, которыя одни доступны наблюденіямъ. Можетъ-ли среда вмѣщать въ себѣ механическую энергію? Въ этомъ весь вопросъ.

Отвѣтъ не подлежитъ сомнѣнію. Натянутая пружина, сжатый газъ, нагрѣтое тѣло суть резервуары энергіи. По мнѣнію Максвелля то же можно сказать и о гипотетической средѣ: она служитъ вмѣстилищемъ для свѣта и для электрической индукціи; онъ предполагаетъ, что каждый элементъ объема свободнаго эѳира содержитъ *локализованную въ немъ энергію*, какъ она содержится въ каждомъ элементѣ сжатаго или нагрѣтаго тѣла. Но какимъ механизмомъ? Это тайна молекулярнаго строенія, тайна, въ которую намъ не удалось еще проникнуть.

Упругую среду мы представляемъ себѣ, какъ состоящую изъ отдѣльныхъ матеріальныхъ точекъ, взаимно притягивающихся и отталкивающихся; этого представленія достаточно, чтобы вывести всѣ законы упругости и распространеніе двухъ типовъ волнъ. Но такое представленіе приходится отбросить, ибо оно предполагаетъ существованіе дальнодѣйствій, одинаково не допустимыхъ, какъ для молекулярныхъ, такъ и для конечныхъ разстояній. Слѣдовательно, мы не имѣемъ образа ни для механической, ни для тепловой энергіи, а между тѣмъ нельзя отрицать ни ея существованія, ни мѣста ея нахожденія. Въ какой же формѣ она существуетъ? Остается сдѣлать послѣдній шагъ и рѣшить этотъ вопросъ. Декартъ пробовалъ дать это рѣшеніе, воображая вихри; онъ сдѣлалъ ошибку, высказываясь слишкомъ опредѣленно. Однако замѣчательно, что мы возвращаемся къ картезіанскимъ представленіямъ не вслѣдствіе метафизическихъ мечтаній, а послѣ строгаго изученія явленій природы.

13. *Заключеніе.* Я предупредилъ читателя, что очеркъ усилій найти механизмъ дальнодѣйствій не будетъ содержать окончательнаго рѣшенія. Если мы его до сихъ поръ не имѣемъ, то скоро будемъ имѣть, ибо аналогіи между различными явленіями, которыя считались прежде независимыми, становятся все многочисленнѣе, и уподобленія — все совершеннѣе; очевидно, что въ изученіи превращеній энергіи, оказавшемся столь плодотворнымъ, надо искать рѣшенія нашей великой задачи, различныя фазы развитія которой мы изложили здѣсь. Съ того времени, какъ установилась эта точка зрѣнія, объединеніе всѣхъ физическихъ дѣятелей идетъ столь быстро, что можно надѣяться на непредвидимыя упрощенія. Можетъ быть, что имѣются уже окончательные результаты, и для достиженія цѣли надо только составить болѣе общее представленіе о силѣ и освободиться отъ нѣкоторыхъ предразсудковъ, ибо въ изученіи природы самое трудное не въ томъ, чтобы не считать за дѣйствительность гипотезу, а въ томъ, чтобы видѣть то, что дѣйствительно существуетъ.

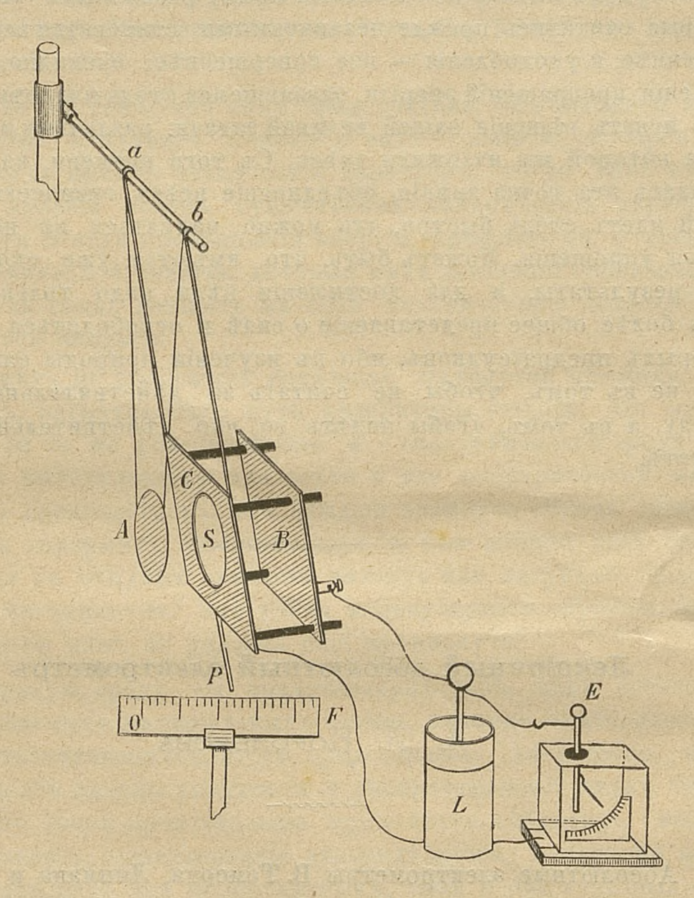
Лекціонный абсолютный электрометръ

А. Л. Королькова

Абсолютные электрометры В. Томсона, Липмана и др. имѣются въ весьма немногихъ лабораторіяхъ. Между тѣмъ для учебныхъ цѣлей необходимо дать понятіе о возможности измѣрить разность потенціаловъ не только сравненіемъ съ эталономъ, но и абсолютно—приведеніемъ къ простымъ геометрическимъ и механическимъ измѣреніямъ. Предлагаемое видоизмѣненіе электрометра В. Томсона оказалось удобнымъ для лекціонныхъ цѣлей.

Легкій алюминіевый кружокъ A (толщиною въ 0·1 mm) подвѣшенъ на очень тоненькихъ проволочкахъ къ штативу (Эдельма-

на) въ точкахъ *a* и *b*. Предохранительная металлическая пластинка *C* съ круглымъ отверстіемъ *S*, нѣсколько меньшимъ кружка *A*, виситъ на металлическихъ прутьяхъ, вращающихся



около тѣхъ же точекъ *a* и *b*. Въ началѣ опыта (до электризаціи) пластина *C* устанавливается такъ, чтобы она плотно прилегала къ свободно висящему кружку *A*; указатель *P* отмѣчаетъ на линейкѣ *F* это нулевое положеніе прибора. При помощи эбонитовыхъ столбиковъ къ пластинкѣ *C* прикрѣплена металлическая пластина *B*, разстояніе которой отъ *C* можно измѣнять, сохраняя параллельность пластинъ *B* и *C*. Всю систему пластинъ *B* и *C* можно отклонять отъ нулевого положенія. Указатель *P* при помощи пружиннаго зажима удерживаетъ систему въ отклонен-

номъ положеніи; по линейкѣ F, на которой держится указатель, опредѣляется отклоненіе прибора отъ нулевого положенія.

Предохранительная пластина C, подвѣшенный кружокъ A и штативъ соединены съ землею; пластина B соединена съ тѣломъ, потенціалъ котораго желаютъ измѣрить (внутренняя обкладка лейденской банки). Пластина B притягиваетъ къ себѣ соединенный съ землею кружокъ A; всю систему можно отклонить на нѣкоторый уголъ α прежде, чѣмъ кружокъ A дѣйствіемъ своего вѣса оторвется отъ B.

Если P есть вѣсъ кружка A въ граммахъ ($981.P$ динъ), l—разстояніе оси ab отъ шкалы F, h—перемѣщеніе указателя вдоль шкалы до того положенія, когда кружокъ A оторвется, то отрывающую силу $P\sin\alpha$ безъ большой погрѣшности можно принять равною $Ph/l\,981$ динамъ. Назовемъ чрезъ K діэлектрическую постоянную среды, находящейся между B и A, чрезъ σ поверхностную плотность электризаціи на притягивающихся частяхъ A и B, чрезъ S — площадь отверстія въ пластинѣ C и чрезъ a разстояніе между A и B (въ моментъ отрыванія A и C совпадаютъ).

Сила, съ которою пластина B притягиваетъ близкую къ ней единицу противоположнаго электричества, выразится чрезъ $2\pi\sigma/K$. Весь кружокъ A, содержащій $S\sigma$ единицъ электричества, притягивается съ силою $2\pi\sigma^2 S/K$. Поэтому

$$P\frac{h}{l}981=\frac{1}{K}2\pi\sigma^2 S.$$

Съ другой стороны напряженіе поля въ пространствѣ между пластинами B и C, т. е. $4\pi\sigma/K$, равно паденію потенціала, V/a; слѣдовательно

$$\frac{4\pi\sigma}{K}=\frac{V}{a}.$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ находимъ

$$V=a\sqrt{\frac{8\pi P\,981\,h}{l\,S\,K}}$$

Изъ этой формулы видно слѣдующее:

1. *Чувствительность прибора почти не зависитъ отъ площади отверстія* S, а только отъ отношенія P/S, которое равно

произведенiю удѣльнаго вѣса кружка на его толщину. Если площади отверстiя и кружка равны, толщина листка равна 0·01 cm, удѣльный вѣсъ алюминiя 2·7, то $P/S = 0{\cdot}027$. Въ дѣйствительности кружокъ A долженъ быть больше отверстiя S, а потому отношенiе P/S близко къ 0·04; слѣдовательно $8\pi\, P/S$ близко къ единицѣ.

Въ сдѣланномъ образцѣ прибора длина l была равна 100 cm. Тогда

$$V = 3{\cdot}14a\sqrt{\frac{h}{K}}(C.\,G.\,S.) = 940a\sqrt{\frac{h}{K}}\,\text{volt},$$

ибо единица потенцiала въ системѣ $C.\,G.\,S. = 300$ volt.

2. *Отклоненiя h прибора пропорцiональны квадрату потенцiала.* При разстоянiи между пластинами въ одинъ центиметръ ($a = 1$) отклоненiе на 1 cm. ($h = 1$) соотвѣтствуетъ въ воздухѣ ($K = 1$) разности потенцiала почти въ 1000 volt (точнѣе 940); отклоненiе въ 4 cm. соотвѣтствуетъ 2000 volt и т. д.

3. При постоянной разности потенцiаловъ *чувствительность прибора возростаетъ обратно-пропорцiонально квадрату разстоянiя между пластинами* ($a_1\sqrt{h_1} = a_2\sqrt{h_2}$ или $h_1 : h_2 = a_2^2 : a_1^2$).

4. Помѣщая между пластинами B и C слой эбонита, стекла или другого дiэлектрика, увидимъ, что при постоянной разности потенцiала *отклоненiя прибора пропорцiональны дiэлектрической постоянной средѣ*: $h_1/K_1 = h_2/K_2$.

За постоянствомъ потенцiала можно слѣдить по присоединенному къ прибору электроскопу съ алюминiевымъ или бумажнымъ листочкомъ.

Спб., 3 Марта 1904 г.

Классные опыты.

Н. С. Дрентельна

—<>—

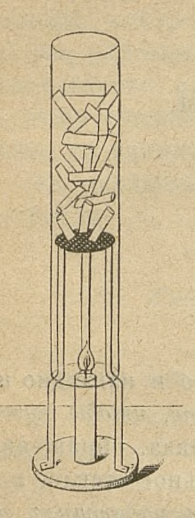
I. *Дѣйствительныя изображенія.*

Слѣдующимъ образомъ можно очень просто и наглядно получить на экранѣ изображеніе предмета *безъ того, чтобы нужно было затемнять помѣщеніе.* Позади матоваго стекла, обращеннаго въ сторону зрителей, помѣщается собирательное стекло, а за нимъ—*зажженая стеариновая свѣча, освѣщенная падающимъ изъ окна боковымъ свѣтомъ.* При надлежащихъ разстояніяхъ получаютъ на матовомъ стеклѣ красивое опрокинутое изображеніе, какъ пламени, такъ и самой свѣчи—благодаря освѣщенію ея дневнымъ свѣтомъ сбоку. Если бы матовое стекло оказалось слишкомъ сильно освѣщеннымъ съ передней стороны, боковой свѣтъ можно частью устранить заслонкою изъ картона. Это не можетъ мѣшать наблюденію, потому что самое изображеніе на матовомъ стеклѣ, какъ извѣстно, не достаточно хорошо видно боковымъ зрителямъ. (Для установки рамы съ матовымъ стекломъ на требуемой высотѣ удобно употреблять универсальный штативъ, описанный въ Физ. Обозрѣніи, т. 3 (за 1902 г.) стр. 302).

2. *Собираніе продуктовъ горѣнія свѣчи.*

Для удержанія продуктовъ горѣнія свѣчи и доказательства, что они вѣсятъ больше, нежели сгорѣвшій матеріалъ, очень удобенъ слѣдующій простой приборъ. Цилиндрическое ламповое стекло (отъ газовыхъ горѣлокъ) надвигается на легкій проволочный треножникъ, на которомъ онъ устанавливается при посредствѣ загибовъ или плечиковъ (фиг. 1) На мѣдную сѣтку, придѣланную сверху къ треножнику, накладываются (свободно) па-

лочки ѣдкаго натра, а подъ сѣтку становится огарокъ восковой свѣчи; все это помѣщается на блюдечкѣ или на поддонникѣ. Въ такомъ видѣ приборъ (вѣсящій въ общемъ около 250 гр.) становятъ на чашку малыхъ робервалевскихъ вѣсовъ, уравновѣшиваютъ его, а затѣмъ зажигаютъ свѣчу. Минуты чрезъ 3 нарушеніе равновѣсія уже вполнѣ замѣтно, а минутъ чрезъ 5 перевѣсъ достигаетъ величины около грамма. Ѣдкій натръ годится и на другой разъ; но только слѣдуетъ его еще горячимъ высыпать изъ цилиндра въ банку (съ притертою пробкою): охладившись, масса настолько затвердѣваетъ, что ее приходится уже извлекать водою.



фиг. 1.

Этотъ цѣлесообразный приборъ описанъ въ вышедшей нѣсколько лѣтъ тому назадъ книгѣ Оствальда „Grundlinien der anorganischen Chemie“ и въ новой книгѣ того же автора „Die Schule der Chemie.

Механическая мастерская при физическомъ кабинетѣ

Ж. Лемуана[1])

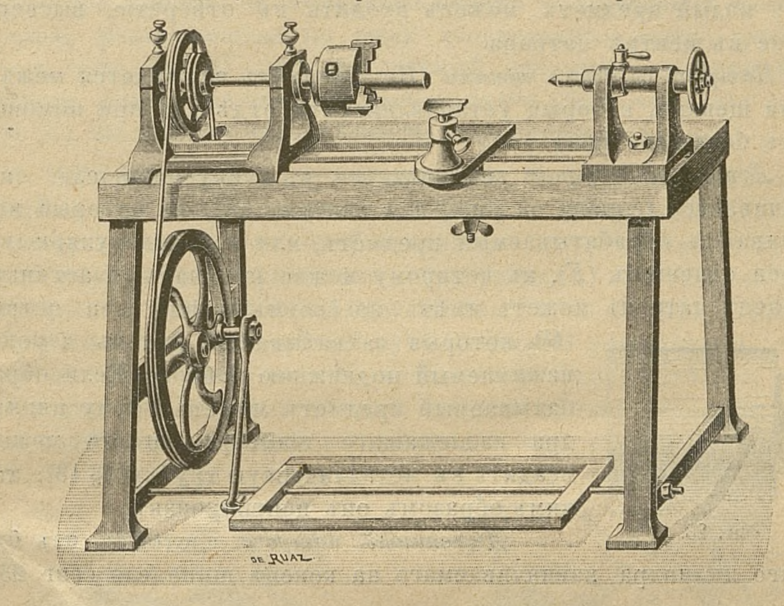
II. Обработка металловъ на токарномъ станкѣ.

12. *Токарный станокъ.* Токарный станокъ съ педалью (фиг. 21) въ 120 cm. длины служитъ для обработки, какъ металловъ, такъ и дерева. На шпинделѣ (оси) имѣются два шкива: большій употребляется при работахъ съ металломъ, меньшій — при работахъ съ деревомъ. На конецъ шпинделя, который снабженъ винтовою нарѣзкою и гайкою, можно навинчивать патроны.

---

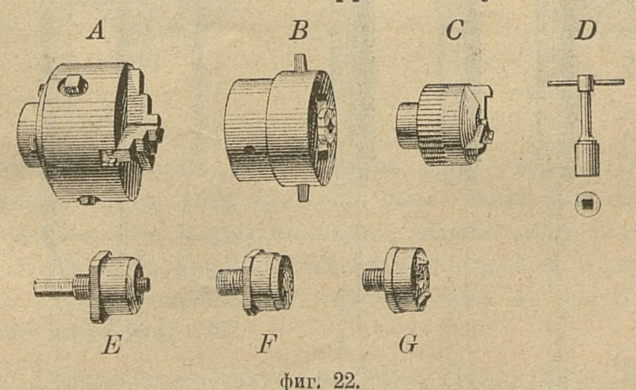
[1]) Продолженіе; см. стр. 88.

Американскій патронъ (фиг. 22, *A*) имѣетъ ступенчатыя щеки, одновременно сближаемыя вращеніемъ ключа (*D*), который надѣвается на любую изъ трехъ головокъ (передающихъ дви-



фиг. 21.

женіе системѣ зубчатыхъ зацѣпленій). Обрабатываемый предметъ захватывается тѣми или другими ступенями щекъ, при



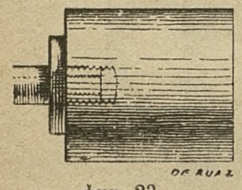
фиг. 22.

чемъ ступени могутъ быть обращаемы наружу (см. рис.) или внутрь; въ первомъ положеніи щеки употребляются для зажа-

тія небольшихъ предметовъ или большихъ полыхъ предметовъ, а во второмъ для зажатія предметовъ большихъ размѣровъ; если предметъ очень великъ, то онъ упирается въ переднюю сторону патрона; малый предметъ можетъ входить въ отверстіе, высверленное въ центрѣ патрона.

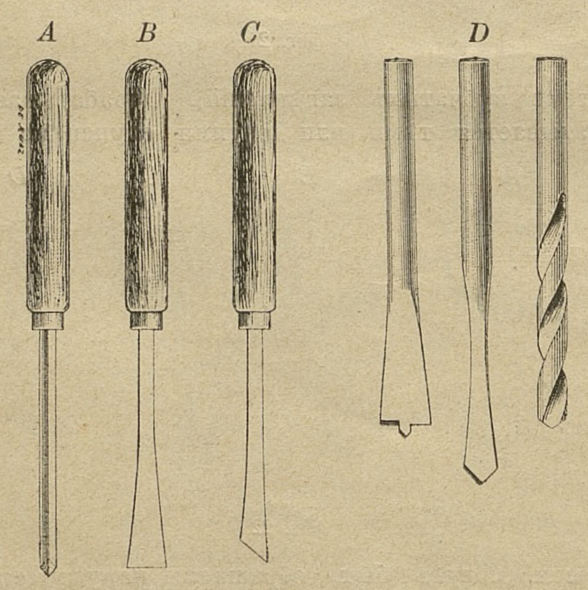
Патронъ съ двумя щеками (*B*); предметъ зажимается между двумя щеками, которыя устанавливаются отдѣльно при помощи двухъ боковыхъ винтовъ.

Латунный патронъ ввинчивается въ гайку шпинделя; онъ оканчивается (справа на рис.) или винтомъ (*E*), на который навинчиваютъ обрабатываемый предметъ, или перпендикулярнымъ къ оси сѣченіемъ (*F*), къ которому можно припаять пластинку; наконецъ патронъ можетъ имѣть на своемъ концѣ два острія (*G*), которыя захватываютъ кусокъ дерева, нажимаемый подвижною бабкою. Если обрабатываемый предметъ имѣетъ форму цилиндра надлежащаго діаметра, то его можно всадить въ металлическую трубку (§ 18); такимъ образомъ онъ центрированъ.



фиг. 23.

Деревянный патронъ состоитъ изъ буковаго цилиндра, навинчиваемаго на конецъ шпинделя (фиг. 23);

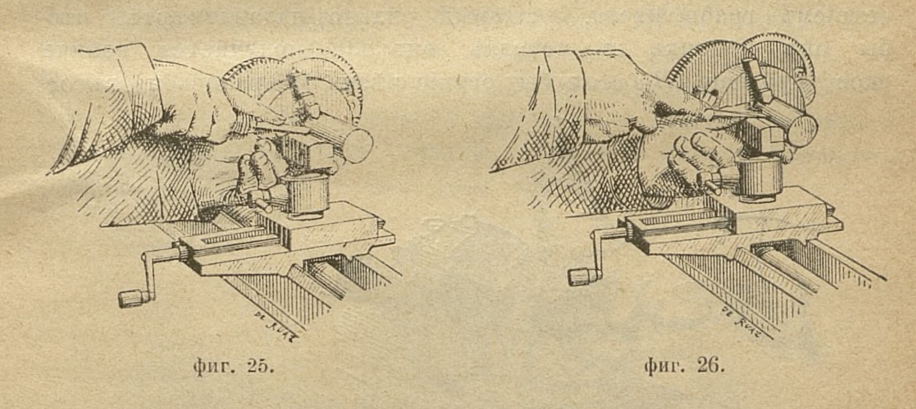


фиг. 24.

онъ, какъ и латунный патронъ, служитъ для того, чтобы держать металлическую трубку, металлическую пластинку или даже деревянную доску.

При работѣ на токарномъ станкѣ употребляютъ *токарные рѣзцы*, различающіеся по виду заостреннаго конца: *грабштихель* (фиг. 24, *A*) — четырехгранный стержень, срѣзанный наискось, *рѣзецъ для окончательной отдѣлки* (*B*) и *ножъ для отрѣзки* (*C*). Иногда же употребляютъ разныя сверла (*D*).

13. *Обточить латунный цилиндръ.* Въ американскій патронъ укрѣпляютъ конецъ латуннаго стержня и, вращая шпиндель, удостовѣряются, что онъ приблизительно центрированъ. Укрѣпляютъ подручникъ параллельно образующимъ обтачиваемаго цилиндра, по возможности ближе къ нему и на толщину грабштихеля ниже оси. Въ правой рукѣ держатъ грабштихель, лѣвою рукою прижимаютъ его въ подручнику. Грабштихелемъ, который держатъ остріемъ вверхъ, опирая противоположное ребро на подручникъ, снимаютъ металлъ въ видѣ стружки (фиг. 25).

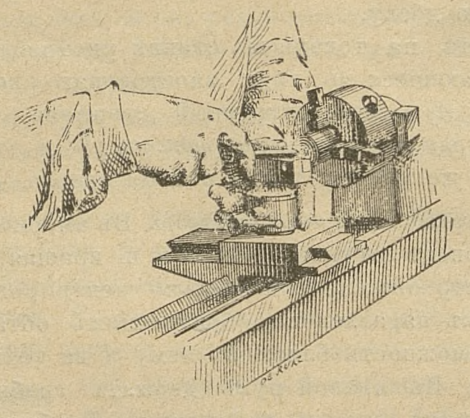


Фиг. 25. Фиг. 26.

Предметъ сточенъ, когда старая его поверхность снята и онъ принялъ форму тѣла вращенія около своей оси. Затѣмъ стараются придать ему форму цилиндра, обработывая его грабштихелемъ, и наконецъ рѣзцомъ для чистой отдѣлки, рѣжущій край котораго держатъ параллельно образующимъ, на высотѣ оси или нѣсколько ниже (фиг. 26).

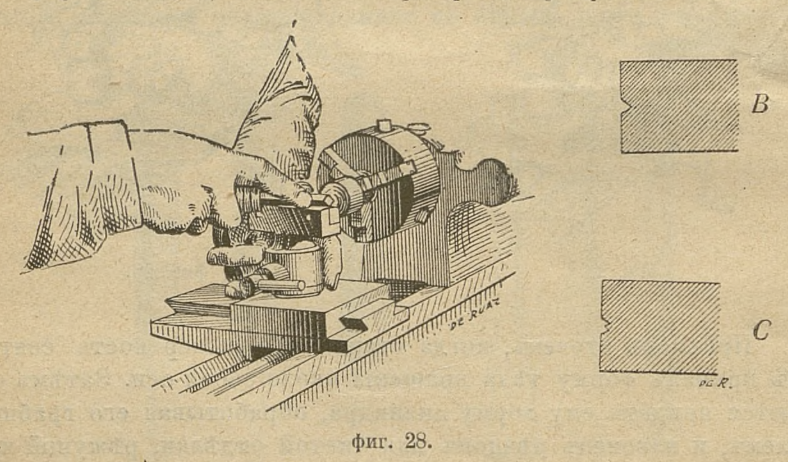
14. *Обточить основаніе цилиндра.* Подручникъ располагаютъ перпендикулярно оси стаканка, вблизи конца цилиндра. Сточить грабштихелемъ, затѣмъ сдѣлать основаніе плоскимъ, не

оставляя соска въ центрѣ; закончить рѣзцомъ для чистой отдѣлки (фиг. 27).



фиг. 27.

15. *Высверлить дыру по оси.* Сначала намѣчаютъ центръ остріемъ грабштихеля, который сильно надавливаютъ, чтобы онъ проникъ въ металлъ (фиг. 28); получается коническое угубленіе (*B*); если бы остріе рѣзца упиралось не въ ось

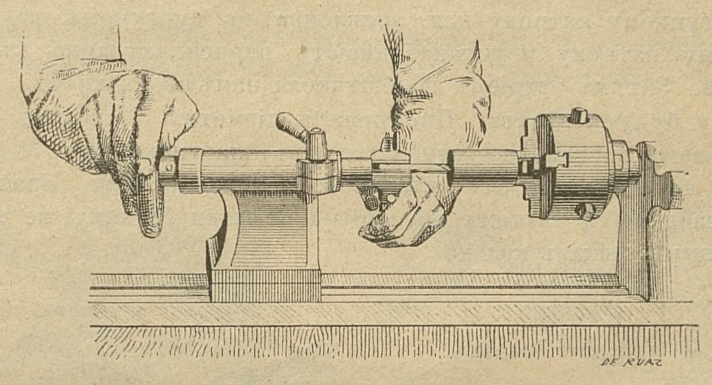


фиг. 28.

вращенія, то въ серединѣ углубленія получился бы коническій выступъ (*C*).

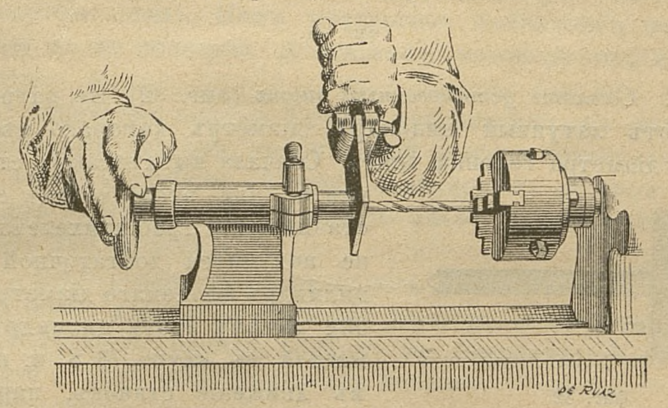
Затѣмъ дыру высверливаютъ; сверло, зажатое въ ручные тиски, упираютъ рѣжущимъ концомъ въ углубленіе, а на другой конецъ нажимаютъ подвижною бабкою (фиг. 29). Приведя въ

дѣйствіе станокъ, медленно вертятъ ручку бабки и такимъ образомъ вводятъ сверло въ металлъ; тиски неподвижно держатъ въ рукахъ. Получается центрированная дыра. Сверло смачиваютъ мыльною водою.



фиг. 29.

Такимъ же образомъ просверливаютъ металлическую доску. Въ американскій патронъ закрѣпляютъ сверло; доску, въ которой на надлежащемъ мѣстѣ сдѣлано кернеромъ углубленіе, зажимаютъ въ ручные тиски и помѣщаютъ между сверломъ и подвижною бабкою; при помощи послѣдней доску постепенно нажимаютъ на конецъ сверла (фиг. 30).

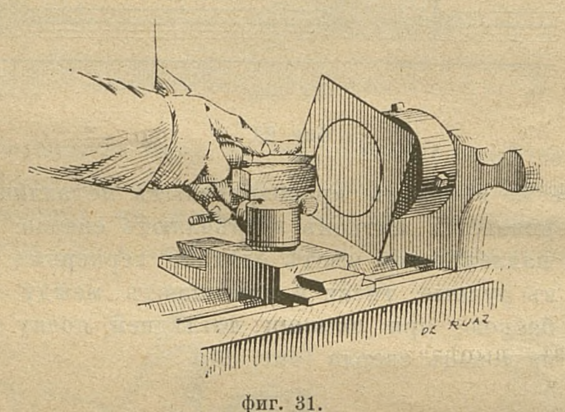


фиг. 30.

Наконецъ на станкѣ можно нарѣзать гайку. Въ дыру доски, вращаемой станкомъ, вводятъ метчикъ, зажатый въ ручные тис-

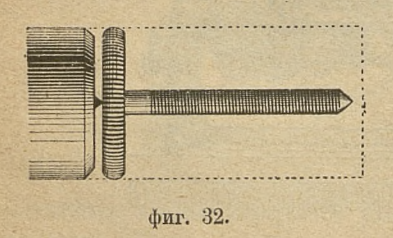
ки. Входя въ доску, метчикъ нарѣзаетъ гайку. Когда метчикъ пройдетъ доску насквозь, станокъ останавливаютъ и вертятъ въ противоположную сторону.

16. *Вырѣзать круглую пластинку.* Пластинку припаиваютъ къ латунному патрону или приклеиваютъ сургучомъ къ деревянному патрону и устанавливаютъ перпендикулярно къ оси станка. Затѣмъ остріемъ грабштихеля намѣчаютъ кругъ, по которому будутъ рѣзать. Провѣряютъ діаметръ. Наконецъ грабштихелемъ постепенно углубляются въ пластинку (фиг. 31), пока кругъ не отдѣлится отъ остальной части пластинки. Края круга обтачиваютъ рѣзцомъ для чистой отдѣлки. Такимъ же способомъ вырѣзываютъ кольцо.



фиг. 31.

17. *Сдѣлать установочный винтъ* (фиг. 32). Въ патронѣ закрѣпляютъ латунный цилиндръ, діаметръ котораго нѣсколько больше діаметра головки винта. Сначала вытачиваютъ стержень винта. Для этого конецъ стержня стачиваютъ грабштихелемъ, пока не получится достаточной длины цилиндръ желаемаго діаметра (фиг. 33); затѣмъ этотъ цилиндръ зажимается въ клупъ (§ 8) и, приводя въ движеніе станокъ, нарѣзаютъ винтъ. Конецъ винта обтачиваютъ грабштихелемъ.

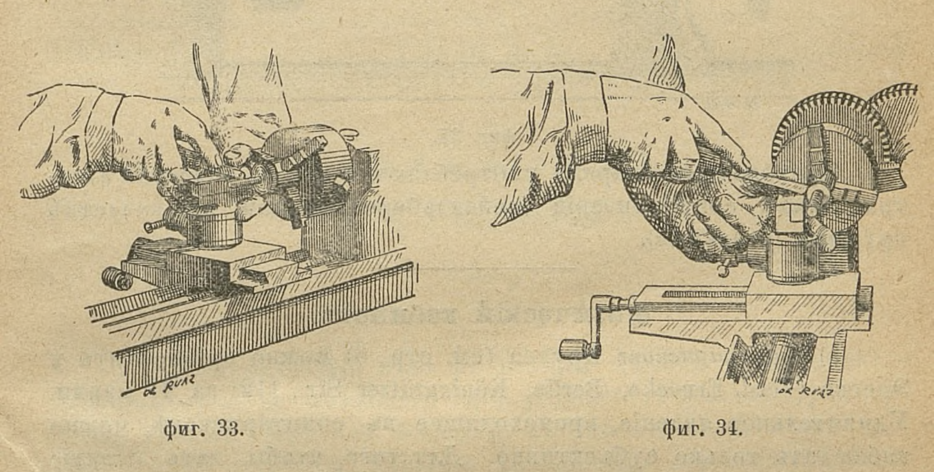


фиг. 32.

Послѣ отдѣлки правой стороны головки, глубокимъ желобкомъ отмѣчаютъ конецъ винта слѣва. Обтачиваютъ кругло бо-

ковую сторону головки винта, затѣмъ накатываютъ; для этого накатку держатъ, какъ грабштихель, сильно прижимая къ боковой поверхности головки (смазывать масломъ) и быстро вертятъ станокъ.

Наконецъ винтъ отрѣзаютъ ножомъ (фиг. 34), который держатъ перпендикулярно къ оси, опирая на подручникъ. Поварачивая ножъ около его точки опоры такъ, чтобы лезвее качалось сверху внизъ, вырѣзаютъ въ металлѣ широкую щель (вдвое шире толщины ножа). Ножъ постепенно подвигаютъ впередъ, производя тѣ же движенія. Достигаютъ наконецъ оси, и винтъ отдѣляется.



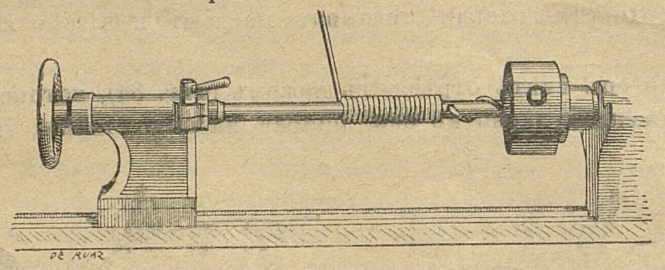
фиг. 33. фиг. 34.

18. *Отрѣзать трубку.* Трубку закрѣпляютъ въ латунный или деревянный патронъ; американскій патронъ годенъ даже для самыхъ тонкихъ трубокъ. Трубку центрируютъ легкими ударами молотка и затѣмъ въ желаемомъ мѣстѣ перерѣзаютъ грабштихелемъ или ножомъ.

19. *Изъ проволоки свернуть спираль.* Металлическій цилиндръ, діаметръ коего меньше внутренняго діаметра изготовляемой спирали, укрѣпляютъ однимъ концомъ въ американскій патронъ; другой его конецъ поддерживается бабкою.

Конецъ наматываемой проволоки защемляется въ патронъ. Сначала два или три оборота проволоки дѣлаютъ отъ руки, затѣмъ вертятъ станокъ, направляя проволоку такъ, чтобы ея обороты касались одинъ другого (фиг. 35); въ то же время помощникъ, стоящій въ разстояніи нѣсколькихъ метровъ, сильно натяги-

ваетъ проволоку. Получаемая такимъ образомъ спираль не развертывается и очень правильна по всей своей длинѣ.



фиг. 35.

Проволочныя спирали употребляются или въ качествѣ электрическихъ сопротивленій (нейзильберовыя), или въ качествѣ пружинъ (стальныя).

Физическій кабинетъ.

1) *Спинтарископъ* Крукса (см. стр 6) можно пріобрѣтать у Эрнеке (Ferd. Ernecke, Berlin, Königgrätzer Str., 112) за 24 марки. Удивительное явленіе, происходящее въ спинтарископѣ, можно наблюдать только субъективно. Для того, чтобы дать понятіе объ этомъ явленіи многочисленной аудиторіи, приходится удовольствоваться имитаціею, указанною Лоджомъ (Nature No 1785). Два стекла (9×12 cm) покрываютъ каждое съ одной стороны чернымъ лакомъ, который остріемъ ножа снимаютъ въ многихъ точкахъ; одно изъ этихъ стеколъ ставятъ передъ фонаремъ и пролагаютъ на экранъ, а другое держатъ передъ первымъ и двигаютъ неправильно; тогда на экранѣ видны свѣтлыя пятнышки, которыя то вспыхиваютъ, то гаснутъ.

2) *Механическій эквивалентъ тепла.* Взять стеклянную трубку (длина 100 cm., діаметръ 3 cm., толщина стѣнокъ 0·2 cm.), одинъ конецъ закрыть пробкою, налить въ нее около килограмма ртути, температура которой предварительно была опредѣлена, и закрыть второй конецъ пробкою; держа трубку обѣими руками за пробки, быстро перевертывать ее разъ пятьдесятъ; быстро вылить ртуть въ стаканъ и снова опредѣлить ея температуру. Зная массу ртути и стеклянной трубки, ихъ нагрѣваніе, а также работу, совершаемую при паденіи ртути въ трубкѣ, можно будетъ вычислить механическій эквивалентъ тепла. (*Abraham, Rec. d'experiences*).